

TEKNILLINEN KORKEAKOULU

Sähkö- ja tietoliikennetekniikan osasto

Jan Tapper

Ulkovalaistuksen ohjausjärjestelmät

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi diplomi-insinöörin tutkintoa varten Espoossa 19.5.2006

Työn valvoja: Professori Liisa Halonen

Työn ohjaaja: Diplomi-insinööri Eero Metso

Tekijä:	Jan Tapper
Työn nimi:	Ulkovalaistuksen ohjausjärjestelmät
Päivämäärä:	19.5.2006
Sivumäärä:	104
Osasto:	Sähkö- ja tietoliikennetekniikan osasto
Professori:	Valaistustekniikka
Työn valvoja:	Professori Liisa Halonen
Työn ohjaaja:	Diplomi-insinööri Eero Metso
<p>Julkisesti ylläpidettyihin ulkovalaistusverkkoihin on liitetty huomattavia kuormia. Kuormien ohjaaminen on toteutettu eri aikakausina vallinneiden teknisin ratkaisuin ja monet järjestelmät ovatkin ikääntymässä. Ulkovalaistusverkkojen tehokkaalla ohjaamisella voidaan kaduille ja teille luoda tarvittavat valaistusolosuhteet eri vuorokauden- ja vuodenaikoihin liikenneturvallisuuden kärsimättä, mutta kuitenkin samalla energiaa säästään.</p> <p>Langattomat siirtotiet ovat nykyisen tietoliikennetekniikan nopeimmin kehittyviä osa-alueita. Radioteitse kulkevilla viesteillä voidaan toteuttaa myös ulkovalaistuksen ohjaus ja monet laitevalmistajat ovatkin kehittäneet erilaisia järjestelmiä, jotka usein käyttävät julkista GSM-verkkoa siirtotienään. Kaapeleita siirtotienään käyttäviin järjestelmiin verrattuna langattomilla järjestelmillä voidaan saavuttaa säästöjä, sillä siirtotietä ei tarvitse rakentaa ja lisäksi investoinnit kalliisiin lähetinlaitteisiin on tehty jonkun muun toimesta.</p> <p>Ulkovalaistusverkkojen topologia ja laajuus sekä ohjausjärjestelmien nykyinen kunto aiheuttavat sen, että järjestelmien soveltuvuus eri käyttökohteisiin vaihtelevat. Järjestelmän ikääntyessä onkin syytä tarkastella ohjaustarpeet ja tarjolla olevat vaihtoehdot huolellisesti vastaavien toteutettujen kohteiden perusteella.</p> <p>Tämän työn tavoitteena oli etsiä ja analysoida ulkovalaistuksen ohjaamiseen soveltuvia järjestelmiä ja ohjaussignaalin siirtotievaihtoehtoja. Työssä esitetään yleisimpien ohjausjärjestelmien ja –siirtoteiden toimintojen kuvaukset sekä näiden hyviä ja huonoja ominaisuuksia. Työn tuloksena kehitettiin Helsingin ulkovalaistusverkon tavoitteisiin sopiva ohjausjärjestelmä siirtoteineen.</p>	
<p>Avainsanat: Ohjausjärjestelmä, GPRS, DARC, DRM, ulkovalaistus, ohjaus, katuvalaistus</p>	

Author:	Jan Tapper		
Name of the Thesis:	Control Systems for Outdoor Lighting		
Date:	May 19, 2006	Number of Pages:	104
Department:	Electrical and Communications Engineering		
Professorship:	Illumination Engineering		
Supervisor:	Professor Liisa Halonen		
Instructor:	Eero Metso, M.Sc.(Tech)		
<p>Public outdoor lighting networks carry a noticeable amount of power. Over the decades, load-switching systems have evolved with the advent of new technology, hence many existing control systems are now aging. With powerful switching technology, sufficient street lighting can be provided at all times of day and in all seasons, without compromising traffic safety, and yet still saving energy.</p> <p>Wireless transmission paths are evolving rapidly. Today, outdoor lighting control systems can be implemented with radio transmitted messaging: indeed many manufacturers have been developing systems that use public GSM network as their transmission path. Wireless transmission eliminates the needs for cabling, and is thus more cost-efficient than wired systems. In addition, some other party will have already made the necessary investments in the expensive transmitter equipment required for this purpose.</p> <p>Due to differences in the topology and size of the network and the condition of the system currently in use, not all control systems are equally suitable in each case. In the case of aging systems, their special requirements and different available alternatives should be considered carefully in the light of experiences gained from similar projects.</p> <p>The goal of this thesis was to find the best system available for the outdoor lighting control purpose. Available control systems and different transmission paths are covered and within them the most suitable solution is picked to be used in Helsinki.</p>			
Keywords: Control system, GPRS, DARC, DRM, outdoor lighting, control, street lighting			

Alkusanat

Tahdon kiittää Helsingin Energiaa ja Eero Metsoa erittäin kiinnostavasta diplomityöaiheesta sekä hänen työn aikana antamastaan tuesta, vinkeistä ja ohjeista. Kiitos myös työn ohjaajalle Professori Liisa Haloselle, jonka kannustava asenne sekä tarkat ja selvät näkemykset työstä tarkastamisen yhteydessä olivat tärkeässä osassa työn valmistumisessa.

Erityiset kiitokset vaimolleni Riitalle sekä lapsilleni Tuomakselle ja Tuulialle kärsivällisyydestä, ymmärtämisestä sekä hyvästä vastapainosta työlle ja koululle koko opiskeluaikana.

Helsingissä 19.5.2006



Jan Tapper

SISÄLLYSLUETTELO

Lyhenteitä	8
1. Johdanto	14
1.1 Tutkimuksen tavoitteet ja taustat	14
1.2 Rajaukset	15
2. Ulkovalaistuksen valaistusteknilliset vaatimukset	16
2.1 Ulkovalaistusalueet.....	16
2.2 Valaistus turvallisuuden lisääjänä	19
2.3 Yhteenveto	21
3. Ohjaus ja säätö	22
3.1 Ohjaus	22
3.2 Säätö	24
3.3 Yhteenveto	25
4. Ohjausjärjestelmät ja -menetelmät	26
4.1 Historia	26
4.2 Verkkokäskyohjaus.....	28
4.3 Radioverkkokäskyohjaus	32
4.4 Vyörytysohjaus	35
4.5 Valaisin- /ryhmäkohtainen valokenno	37
4.6 GPRS-tiedonsiirtoon perustuvat releohjausjärjestelmät	39
4.7 Sähköverkkotiedonsiirtoon perustuvat järjestelmät	43
4.8 Tekstiviestipohjaiset ohjausjärjestelmät	45
4.9 Puhelinverkkotiedonsiirtoon perustuvat järjestelmät	47
4.10 Ohjelmoitavat logiikat.....	48
4.11 Muut langattomat järjestelmät.....	49
4.12 Muut langalliset järjestelmät.....	50
4.13 Kehitystilanne Suomessa ja ulkomailla	51
4.14 Yhteenveto	54
5. Säätöjärjestelmät ja -menetelmät	55

5.1 Valaisinkohtaiset säätöjärjestelmät	55
5.2 Ohjaus - säästömuuntaja	57
5.3 Muut ryhmä- tai aluekohtaiset säätömenetelmät	58
5.4 Elektroniset liitännälaitteet	60
5.5 Yhteenveto	60
6. Ohjelmistot	61
6.1 Ohjelmistot ja ohjelmat ohjausjärjestelmässä	61
6.2 Protokollat	62
6.3 Arkkitehtuuri	64
6.4 Yhteenveto	65
7. Siirtotievaihtoehdot	66
7.1 Lähetystavat	66
7.2 Langalliset siirtotievaihtoehdot	67
7.5 Langattomat siirtotievaihtoehdot	72
7.6 Yhteenveto	82
8. Ohjaus- ja säätöviestien siirto	83
8.1 Luotettavuus	83
8.2 Riskianalyysi	85
8.3 Käyttövarmuus	85
8.4 Luottamuksellisuus	85
8.5 Sanoman siirron vastuu	86
8.6 Siirtomäärät	87
8.7 Yhteenveto	90
9. Lisäominaisuudet	91
9.1 Energiankulutustietojen siirto	91
9.2 Jakokaappien ilkivaikailmoitus	92
9.3 Liikennemäärät	93
9.4 Valaistusolosuhteet	93
9.5 Vikailmoitukset	93

10. Yhteenveto ja johtopäätökset	95
10.1 Järjestelmän määrittäminen	95
10.2 Esimerkkisuunnitelma	96

LIITTEET

1. Ala-aseman kytkentä olemassa olevaan keskukseen
2. Ala-aseman kytkentä uuteen keskukseen
3. Ulkovalaistuksen ohjausjärjestelmien ominaisuuksia

LYHENTEITÄ

3DES	Triple DES. Tiedon salauksessa käytetty menetelmä, jossa data salataan kolme kertaa DES-algoritmillä.
ACK	Acknowledge. Kuittaus.
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line. Tiedonsiirtonopeudeltaan epäsymmetrinen, puhelinverkon tilaajajohdossa toimiva digitaalinen tiedonsiirtotapa.
AES	Advanced Encryption System. Tehokas salausalgoritmi.
AL-luokat	Ajoneuvoliikenteen väylillä SFS-EN-13201-2 –standardiin perustuva tievalaistuksen luokittelu.
AM	Amplitude Modulation. Amplitudi modulaatio. Radioverkossa käytettävä modulaatiomenetelmä.
AMR	Automatic Meter Reading. Mittareiden kaukoluenta.
APN	Access Point Name. Kohdeverkon nimi GPRS-järjestelmässä.
BRI	Basic Rate Interface. ISDN:n perustason palvelun laajuuskonsepti.
BS	Base Station. Tukiasema.
BSS	Base Station System. GSM:n tukiasemajärjestelmä.
CCH	Control Channel. GSM:n ohjauskanava
DARC	DigitAl Radio Channel. Radiolähetysten kantoaallolla toteutettava tiedonsiirtomenetelmä.
DC	Direct Current. Tasavirta.
DDE	Dynamic Data Exchange. Ohjelmien väliseen tiedonsiirtoon tarkoitettu menetelmä.
DES	Data Encryption Standard. Tiedon salauksessa käytetty algoritmi.
DRM	Digital Radio Mondiale. Digitaalinen amplitudimoduloidulla kanavilla datansiirtoon tarkoitettu järjestelmä.

DSiP	Distributed Systems interconnection Protocol. Järjestelmätoimittajasta riippumaton protokolla, joka toimii esim. tulkkina eri valmistajien järjestelmien välillä.
DSL	Digital Subscriber Line. Yleisnimitys puhelinverkon tilaajajohdossa toimiville tiedonsiirtojärjestelmille, kuten ADSL, VDSL ja SDSL.
DSLAM	Digital Subscriber Line Access Multiplexer. Verkkokomponentti, joka yhdistää tilaajajohdot operaattorin runkoverkkoon.
DXT	Tetra-järjestelmän keskus.
EDGE	Enhanced Data rate for GSM Evolution. GSM-verkon nopean tiedonsiirron menetelmä.
EIRP	Effective Isotropic Radiated Power. Efektiivinen säteilyteho.
ETSI	European Telecommunications Standards Institute.
FIFO	First In First Out. Normaali jonotusjärjestelmä, ensimmäisenä sisään, ensimmäisenä ulos.
FM	Frequency Modulation. Yleisesti esim. radiolähetyksissä käytetty taajuusmodulaatiotekniikka.
FSK	Frequency Shift Keying. Esim. radiotekniikassa käytetty modulointimenetelmä.
GGSN	Gateway GPRS Support Node. GPRS-verkon liitäntäsolmu.
GMSK	Gaussian Minimum Shift Key. GSM:n käyttämä modulaatiotapa.
GSM	Global System for Mobile communication. Maailmanlaajuisesti toimiva matkapuhelinverkko.
GPRS	General Packet Radio Service. GSM-verkossa toimiva pakettikytkentäinen tiedonsiirtojärjestelmä.
HLR	Home Location Register. GSM-järjestelmän osa, joka mm. tietoa tilaajien sijainnista reitystä varten.
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers.
ISDN	Integrated Services Digital Network. Puhelinverkossa toimiva digitaalinen piirikytkentäinen tiedonsiirtoteknologia.

I/O	Input/Output. Järjestelmän sisääntulevien ta ulospäin menevien liitännöjen nimitys.
IP	Internet Protocol. Esim. internetissä käytetty OSI-mallin verkkokerroksen protokolla.
ISM	Industrial, Scientific and Medical. Teollisuuden, tieteen ja lääkintätarkoituksiin tarkoitettu vapaasti käytettävä taajuusalue.
IT	Information Technology.
IWMSC	Internetworking Mobile Switching Center. GSM:n verkkoelementti.
LIFO	Last In First Out. Pino-tyyppinen jonotusjärjestelmä. Viimeisenä sisään, ensimmäisenä ulos.
LON	Local Operating Network. Hajautettu kenttäväyläteknologia.
LRE	Long Reach Ethernet. Ciscon VDSL:n kaltainen verkkoteknologia.
MAN	Metropolitan Area Network. Laajoilla alueilla toimiva verkko.
MSC	Message Sequence Chart. Graafinen kuvauskieli, jota käytetään esim. protokollasuunnittelussa kuvamaan osapuolten viestien vaihtoa.
MSC	Mobile Switching Center. GSM-verkon keskus.
NMS	Network Management System. Tetraverkon hallintajärjestelmä.
NTP	Network Time Protocol. Protokolla, jota käytetään kellojen synkronointiin verkon palvelinten kanssa.
OLE	Object Linking and Embedding. Teknologia objektien linkitykseen ja sisällyttämisen toisissa ohjelmistoissa tai dokumenteissa.
OSI-malli	Open Systems Interconnection model. Kuvaus tietoverkkojen toiminnallisuuksista seitsemällä toisistaan toiminnallisuudeltaan eroavalla tasolla.
PEN	Protective Earth + Neutral. Yhdistetty nolla- ja suojajohdin.

PJ-verkko	Pienjänniteverkko. Jakeluverkon osa, jossa jännitetaso on 400/230 V.
PLC	Power Line Communications. Yleisnimitys sähköverkossa tapahtuvalle tiedonsiirrolle.
PTM	Point-To-Multipoint. Pisteestä moneen pisteeseen. Tiedonsiirtomenetelmä, jossa paketti lähetetään yhdestä pisteestä samanaikaisesti monelle vastaanottajalle.
PRI	Primary Rate Interface. ISDN:n suuren kaistan leveyden palvelun laajuuskonsepti.
PSTN	Public Switched Telephone Network. Julkinen piirikytkentäinen puhelinverkko.
QAM	Quadrature Amplitude Modulation. Esim. ADSL:n käyttämä modulaatiomenetelmä.
RDS	Radio Data System. Analoginen järjestelmä pienimuotoiseen datansiirtoon radiokanavilla.
RS232	Sarjaliikenneväylä.
SDL	Specification and Description Language. Graafinen kuvauskieli, jota käytetään esim. prosessien kuvaamiseen.
SDS	Short Data Services. Tetran lyhytviestintäpalvelu.
SDSL	Symmetric Digital Subscriber Line. Symmetrinen puhelinverkon tilaajajohdossa toimiva tiedonsiirtotekniikka.
SGSN	Serving GPRS Support Node. GPRS-verkon tukisolmu.
SSH	Secure Shell. Salattu etäyhteys.
SMS	Short Message System. GSM-järjestelmän tekstiviesti.
TBS	Tetra Base Station. Tetra-verkon tukiasema.
TCH	Traffic Channel. GSM:n liikennöintikanava.
TCP	Transmission Control Protocol. OSI-mallin kuljetuskerroksen protokolla.
TCS	Tetra-järjestelmän rajapintapalvelin.
TEDS	Tetra Enhanced Data Service. Tetra-verkon laajennettu tiedonsiirtopalvelu.

TETRA	TErrestrial TRunked rAdio. Viranomaisverkoissa käytetty tiedonsiirtoverkkoteknologia.
TI-arvo	Threshold Increment-arvo. Lukuarvo prosentteina, joka kuvaa estohäikäisynä koettavaa kynnyskontrastin kasvua.
TPC	Tetra Packet Core. Tetran pakettiverkon ydin.
UDP	User Datagram Protocol. OSI-mallin kuljetuskerroksen protokolla.
UHF	Ultra High Frequency. 300-3000 MHz välinen taajuusalue.
UML	Unified Modeling Language. Graafinen kuvauskieli, jota käytetään prosessien kuvaamisessa ja esim. ohjelmistosuunnittelussa.
UPS	Uninterruptable Power System. Katkeamaton sähköä esim. akustojen avulla syöttävä järjestelmä.
USSD	Unstructured Supplementary Service Data. GSM-verkossa toimiva pienimuotoisen tiedonvälityksen palvelu.
UV	Ulkovalaistus.
VDSL	Very high bitrate Digital Subscriber Line. Nopea puhelinverkon tilaajajohdossa toimiva tiedonsiirtotekniikka.
VHF	Very High Frequency. 30-300 MHz välinen taajuusalue.
VKO	Verkkokäskyohjaus (eng. ripple control). Jakeluverkon kautta tapahtuva tiedonsiirroltaan yksisuuntainen ohjausmenetelmä.
VLAN	Virtual Local Area Network. Tekniikka, jolla sama fyysinen verkko saadaan jaettua pienempiin verkkosegmentteihin esim. tietoturvallisuussyistä.
VLR	Visitor Location Register. GSM-verkon komponentti, joka tietää tukiaseman, jonka alueella tilaaja kulloinkin on.
VNC	Virtual Network Computing. Protokolla järjestelmien graafisen etäkäyttöön.
WiFi	Wireless Fidelity. IEEE 802.11b: n toinen nimitys.
WLAN	Wireless Local Area Network. IEEE 802.11b tai 802.11g mukainen langaton lähiverkko.

X10 Pienjänniteverkossa toimiva tiedonsiirto- ja automaatioteknologia.

X.25 Pakettikytkentäinen verkkoprotokolla, jossa fyysisenä kerroksena usein puhelin- tai ISDN-verkko.

1. JOHDANTO

1.1 Tutkimuksen tavoitteet ja taustat

Suomessa on runsaasti valaistuja ulkoalueita, kuten katuja, teitä ja puistoja. Ulkoalueiden valaistuksella lisätään turvallisuutta tai turvallisuuden tunnetta sekä viihtyisyyttä. Nykyisin valaistusta käytetään yhä enemmän myös korostusvalaistuksessa tuomaan esille merkittäviä maaston kohtia, rakennuksia, rakennelmia ym.

Kaikkea ulkovalaistusta ohjataan. Usein ulkovalaistusta ylläpitävä taho tai ulkovalaistusverkon omistaja ohjaa valaistuksen päällekytketymis- ja sammumisaikoja keskitetysti. Normaalisti ulkovalaistuksen ohjausperuste on luonnonvalon määrä. Ulkoalueiden valaistusvoimakkuuden ollessa ohjaukselle määriteltujen raja-arvojen sisällä suoritetaan ohjaus, jonka toimesta valaistus saadaan päälle tai pois halutuilla alueilla.

Ohjaussignaalin kuljettamiseen keskitetystä ohjauspaikasta ulkovalaistuksen jakokaapeille on useita käytössä olevia tapoja. Suomessa yleisin näistä on nykyisin verkkokäskyohjaus, joka perustuu äänitaajuisen ohjaussignaalin kuljettamiseen pienjänniteverkossa. Verkkokäskyn perustuvia ohjauslaitteita on ollut käytössä vuosikymmeniä ja monet olemassa olevat järjestelmät ovatkin ikääntymässä.

Tämän tutkimuksen tavoitteena on kartoittaa markkinoilla olevat ulkovalaistuksen ohjaukseen soveltuvat ohjausjärjestelmät sekä näiden ohjausviestinnän siirtotievaihtoehdot. Siirtoteiden osalta tämä työ käsittelee pääosin avoimien järjestelmien OSI-mallin (Open Systems Interconnection model) mukaisista tasoista alimpia: fyysistä ja linkkitasoa. Lisäksi tavoitteena on selvittää teknisiltä, toiminnallisilta ja taloudellisilta ominaisuuksiltaan parhaiten suuren kaupungin ulkovalaistuksen ohjaustarpeisiin soveltuvia järjestelmiä valmiista kaupallisista tuotteista. Sopivan kaupallisen tuotteen puuttuessa tehdään määritys kaupunginlaajuisen ulkovalaistuksen ohjausjärjestelmän komponenttien ja tiedonsiirto-osuuden ominaisuusvaatimuksista uuden järjestelmän kehittämistyön pohjaksi. Tavoitteisiin kuuluu lisäksi selvittää tarpeet ja mahdollisuudet uuden ohjausjärjestelmän tiedonsiirtoverkossa siirrettävään, varsinaisesta ohjaus- tai säätöviestinnästä poikkeavaan tietoliikenteeseen. Tiedonsiirtoyhteyksien osalta tutustutaan myös eri järjestelmien tiedonsiirtoprotokollien avoimuuteen ja analysoidaan käytettyjen protokollien rajapintakuvausten käyttökelpoisuus pitkällä aikavälillä, jos kuvaus on saatavilla. Lisäksi tutkitaan vaihtoehtoja sanomien kuljetusreittiin muiden kuin ulkovalaistusorganisaation ylläpitämistä verkoista.

Tavoitteena on myös selvittää kuinka uudet ulkovalaistuksen ohjausjärjestelmät toimivat olemassa olevan järjestelmän rinnalla ja aiheutuuko siitä ongelmia, sekä kuinka mahdolliset ongelmatilanteet voidaan estää.

1.2 Rajaukset

Tässä työssä pääpainopiste on julkisen ulkovalaistuksen kauko-ohjaukseen soveltuvien järjestelmien esittely ja niiden teknisten ja toiminnallisten ominaisuuksien analysoiminen. Kustannustarkastelu on rajattu työn ulkopuolelle.

2. ULKOVALAISTUKSEN VALAISTUSTEKNILLISET VAATIMUKSET

Ulkovalaistusta käytetään esim. teillä, kaduilla, puistoissa ja muilla yleisillä ulkoalueilla lisäämään turvallisuutta, turvallisuuden tunnetta ja viihtyvyyttä. Taajamissa ja yleisillä Tiehallinnon ylläpitämillä yleisillä teillä on erilaiset tarpeet ja liikenteen käyttäjäryhmät ja -määrät, joten myös valaistusteknilliset tarpeet ko. alueille ovat erilaiset. Tässä yhteydessä käsitellään valaistusteknillisiä vaatimuksia sovelluskohteittain säätönäkökulmasta sekä liikenne- ja henkilöturvallisuuden kannalta.

2.1 Ulkovalaistusalueet

2.1.1 Yleiset tied

Tiehallinto hallinnoi lähes 80 000 tiekilometriä Suomessa, joista lähes 12 000 km on valaistua. Valtaosa teistä on seutu- tai yhdysteitä, joille liikennemäärät jakaantuvat. Suurimmat keskimääräiset liikennemäärät painottuvat kuitenkin moottori- ja moottoriliikenneteille, jotka ovat yksinomaan ajoneuvoliikenteen reittejä [Tiehallinto 2005]. Tievalaistuksella on onnettomuuksia vähentävä vaikutus, joten liikennemäärien ollessa riittävän suuret kannattaa tiet valaista [Tiehallinto 2004]. Kaikista teillä sattuneista onnettomuuksista lähes kolmasosa tapahtuu pimeään tai hämärän aikaan.

Yleisillä teillä onnettomuusriski vähenee olennaisesti valaistuilla tieosuuksilla, mikäli kevyen liikenteen käytössä on erillinen väylä. Onnettomuusriski nousee pimeään aikaan yli 1,5- kertaiseksi valoisaan aikaan verrattuna. Tievalaistuksen arvioidaan vähentävän henkilövahinko-onnettomuuksia pimeään aikaan jopa 45-55 prosenttia [Hautala 2003].

Tievalaistuksen säätäminen energiansäästömielessä on harkittava tarkkaan, sillä monesti valaistuksen vähentämisen tuoma säästö on pienempi kuin onnettomuuskustannusten vastaava lisäys ko. alueella [Hautala 2003].

2.1.2 Taajamat

Taajamissa ajoneuvot liikkuvat kaduilla, joilla on yleisiä teitä pienemmät ajonopeudet, sekä erilaiset poikkileikkaukset ja liittymätiheydet. Kuten yleisillä teilläkin, ajorata on normaalisti kaksikaistainen, jolloin valaistusolosuhteiden vaatimusten pitää täytyä molemmilla kaistoilla. Kevyen liikenteen osuus kadun käyttäjistä on merkittävä erityisesti keskustissa ja palveluiden lähellä. Näillä alueilla, joissa ajoneuvoja ja kevyttä liikennettä on runsaasti, on havaitsemisnopeuden ja kontrastin parantamiseksi syytä valaista katualue tehokkaasti.

Valaistusvoimakkuuden lisäksi valon väri on kaupunkikuva- ja mukavuustekijänä huomioitava taajama-alueilla tapauskohtaisesti. Esimerkiksi usein toreilla ja aukioilla, missä ihmisiä liikkuu runsaasti, värintoistoltaan kohtalainen tai hyvä valaistus tuo alueelle viihtyisyyttä. Tyypillisesti elohopea- ja monimetallivalonlähteet ovat viihtyisyyttä lisääviä värintoiston R_a -indeksin ollessa 60-90. Säättäminen on mielekästä korkeintaan energiansäästämielessä, sillä torien ja aukoiden houkuttelevuus vähenee valaistusvoimakkuuden madaltuessa.

Kaduilla suurpainenatriumlampun suosio perustuu pitkään polttoikään ja valotehokkuuteen, joka on 85 - 150 lm/W lampputehosta riippuen. Suurpainenatriumlampulla tavallinen vaihtoväli on neljä vuotta eli n. 16 000 h. Kohtuullisilla tehoilla saadaan tuotettua runsaasti valoa varmistamaan turvalliset olosuhteet kadun käyttäjille. Toisaalta katualueilla tullaan toimeen ilman erityisen hyvää värintoistoa, sillä liikenneturvallisuuden kannalta luminanssikontrasti taustan ja kohteen välillä on tärkein ominaisuus. Värintoistoltaan vaatimattoman R_a -indeksin valonlähteet, kuten suurpainenatriumlamppu, soveltuvat useimmiten katujen lamppuvaihtoehtoiksi. Tyypillisesti suurpainenatriumlampun värintoistoindeksi on 20-25. Kaupungeissa ajoneuvoliikenteen osuus vähenee öiseen aikaan ja erityisesti viikonloppuisin jalankulkijoiden osuus on runsaampaa. Myös silloin valaistustasojen on oltava katualueella riittävät ajoneuvoliikenteen ja jalankulkijoiden keskinäisen havainnoinnin helpottamiseksi. Tämä johtaa siihen, ettei taajama-alueilla valaistuksen säätö välttämättä sovellu käytettäväksi joka paikassa. Kuitenkin toiminnalliselta luokaltaan pääkadun ja kokoojakadun tyyppiset kadut voivat sopia säätökäyttöön hyvinkin, mikäli katualueen turvallinen ja viihtyisä käyttö on vielä mahdollista, eikä esimerkiksi risteävää jalankulkuliikennettä ole. Kadun valaistuksen säätötilanteen tavoiteluokan on kuitenkin täytyttävä, vaikka käyttäjäkunta ja liikennemäärät olisivat mitoitustilanteesta poikkeavat. Kadun käyttäjät, liikennemäärä ja muut valaistusluokan valintaan vaikuttavat asiat on siis tarkasteltava sekä normaalissa että säätötilanteessa ja huolehdittava siitä, että kadun valaistustilanne on kulloinkin vallitsevien olosuhteiden ja käyttäjäprofiilin mukaista.

Kaduilla tapahtuu 4-8 kertaa enemmän onnettomuuksia / ajokilometri kuin yleisillä teillä [Tiehallinto 2006]. Suurin syy tähän on selvästi suurempi kevyen liikenteen ja konfliktialueiden määrä sekä näiden erilainen käyttäjäprofiili. Kaupunkiolosuhteissa onkin huomattavasti enemmän pintoja ja kohteita, joiden näkeminen on liikenneturvallisuuden kannalta tärkeää, kuin yleisillä teillä. Kaupunkialueilla luminanssiin perustuva valaistuksen mitoitus ei välttämättä ole kaikkialla optimaalisin tapa, sillä havaitisijoita on useissa suunnissa ja toisaalta ajoneuvojen nopeudet ovat yleisiä teitä matalammat [Suomen Kuntaliitto 2002].

Helsingissä jalankulkijoiden onnettomuudet ovat yleisin liikenneonnettomuusryhmä. Jalankulkijoiden liikenneonnettomuuksista 60-70 % tapahtuu syksyllä ja talvella, joten jalankulkijoiden näkyvyys on kaupungissa tärkeää. Tilastollisesti tarkasteltuna kaikista henkilövahingoista yli 50% ja jalankulkuonnettomuuksista yli 60% tapahtuu kantakaupungissa, vaikka ko. alueella katuja on noin 25% kaikista kaduista ja liikennemäärä vain kolmasosa koko kaupungin liikennemäärästä. Pimeänä aikana suojateilla tapahtuu likipitään yhtä paljon onnettomuuksia kuin suojatien ulkopuolellakin. Katujen valaistusolosuhteiden tulisikin olla tasalaatuiset, eikä suojateitä pidä erityisesti korostaa esimerkiksi muita katualueita tehokkaammalla valaistuksella. Suojateiden tehostettu valaistus saattaa johtaa pahempaan tilanteeseen kuin ilman sitä. Esimerkiksi Ruotsissa kaikki menneinä vuosikymmeninä rakennetut suojateiden valaistuksen tehostusinstallaatiot on purettu pois, sillä se johti ongelmiin suojatien ulkopuolella, koska autoilijoiden oli vaikea havaita tehostusalueen ulkopuolella liikkuvia [Helsingin Energia 1996].

Kaupunkialueelta ei löydy Tiehallinnon tilastojen kaltaista tuoretta tutkimusmateriaalia katuvalaistuksen rakentamisen vaikutuksesta onnettomuuksiin, sillä kaupungissa kadut valaistaan lähes poikkeuksetta niiden rakentamisen yhteydessä. On kuitenkin selvää, että valaistuksella on henkilöturvallisuutta lisäävä vaikutus, sillä kaupungeissa kevyt liikenne on merkittävä katualueiden käyttäjäryhmä.

2.1.3 Puistot

Puistoalueilla valaistuksen tehtävänä ei ole niinkään kevyt- ja ajoneuvoliikenteen konfliktien vähentäminen, vaan turvallisuuden tunteen ja viihtyisyyden lisääminen. Koska havaitsemisnopeus ei ole turvallisuuden kannalta olennaista puistoalueilla, ei myöskään valaistuksen mitoitusta tehdä luminanssiin perustuen. Puistot ja puistokäytävät valaistaankin normaalisti kuten kevytliikenteen väylät, käyttäen mitoitusperusteena valaistusvoimakkuutta. Puistot ovat valaistuksen säädön kannalta haastavia alueita, sillä vähemmällä valolla turvattomuuden tunne lisääntyy erityisesti jos ympäröivää aluetta ei voida enää nähdä kunnolla. Lisäksi puistoalueilla käytettävillä lampputehoilla ei säädöstä ole merkittävää energiansäästöhyötyä.

2.1.4 Kevyen liikenteen reitit

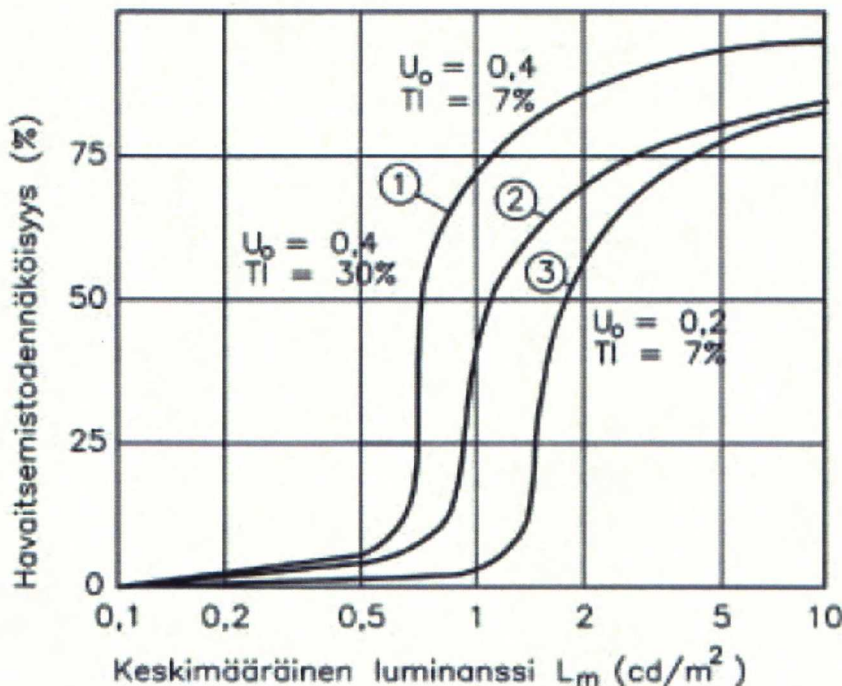
Ajoradoista erilliset kevytliikennereittien valaistus mitoitetaan valaistusvoimakkuuteen perustuen. Valaistuksen funktiona on, kuten puistoissa, turvallisuuden tunteen ja viihtyisyyden lisääminen. Kaupungeissa kuitenkin kevytliikennereittien valaistuksen tehtävänä on myös lisätä jalankulkijoiden ja pyöräilijöiden näkyvyyttä lähellä olevalle ajoneuvoliikenteelle ja näin ehkäistä onnettomuuksia. Kevyenliikenteen reittien

valaistuksen säätö alaspäin saattaa vaikeuttaa jalankulkijoiden ja pyöräilijöiden näkyvyyttä ajoneuvoliikenteelle.

2.2 Valaistus turvallisuuden lisääjänä

Ajoneuvon kuljettajan päätöksentekoon vaikuttaa tiellä havaitut esteet ja muut tienkäyttäjät. Kuljettajan reagointiaikaan vaikuttaa havaittavan kappaleen koko, kontrasti tienpintaan tai taustaan ja tienpinnan luminanssi. Toisaalta havaitsemista vaikeuttaa esimerkiksi valonlähteiden aiheuttama estohäikäisy, jota mitataan kynnyskontrastin kasvuna. Havaitsemisen todennäköisyyteen vaikuttaa luminanssin tasaisuus, keskimääräinen luminanssi ja kynnyskontrastin kasvun TI-arvo. Myös aika parantaa havaitsemisen todennäköisyyttä, mutta havaitsemiseen käytettävä aika riippuu paljolti tiellä tai kadulla kulkevan ajoneuvon nopeudesta. Koska nopeasti kulkevien ajoneuvojen väylillä ei voida lisätä näkemisen todennäköisyyttä kuin valaistusolosuhteita parantamalla, on näillä väylillä valaistustekniset vaatimukset tiukempia.

Kuvassa 2.1 on esitetty keskimääräisen luminanssin ja havaitsemistodennäköisyyden funktiota erilaisilla yleistasaisuuden U_o - ja kynnyskontrastin kasvun TI-arvoilla.



Kuva 2.1. Havaitsemistodennäköisyys eri valaistusolosuhteissa (U_o = yleistasaisuus, TI = kynnyskontrastin kasvu) [Tielaitos 1991] .

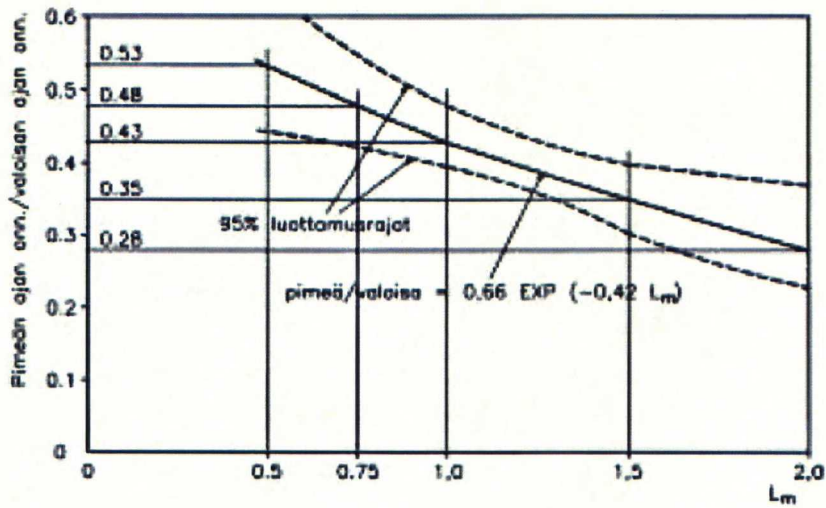
Ajoradalle osuvan valon jakaantuminen ei ole täysin tasaista, joten eri kohdissa ajorataa tienpinnan luminanssi on erilainen autoilijan näkökulmasta katsottuna.

Suomessa mm. Tiehallinto on tutkinut valaistuksen vaikutusta liikenneturvallisuuteen. Useissa tutkimuksissa Suomessa ja ulkomailla on todettu valaistuksen parantavan turvallisuutta ja myös vähentävän onnettomuuksien vakavuutta erityisesti jalankulkijoiden osalta [Mäkelä, Kärki 2004]. Havaitsemiseen mesooppisilla luminanssitasoilla vaikuttaa lisäksi valon spektrijakauma [Eloholma, Ketomäki, Halonen 2004], joten silläkin on vaikutusta liikenneturvallisuuteen.

Luminanssitason vaikutusta liikenneonnettomuuksiin on tutkittu vertailemalla onnettomuustiheyttä ennen ja jälkeen ulkovalaistukseen tehtyjä muutoksia. Esimerkiksi Suomessa Tiehallinnon teillä on tehty havainto luminanssitason positiivisesta vaikutuksesta turvallisuuteen. Eräällä tiellä luminanssitason pudottaminen $1,5 \text{ cd/m}^2$:sta $0,75 \text{ cd/m}^2$:iin lisäsi onnettomuuksia tieosuudella 13% [Hautala 2003]. Tämä vastaa muutosta ajoneuvoliikenteen AL2-luokasta AL4b-luokkaan olettaen luokkien muiden valaistusteknisten vaatimusten täyttyvän. Toisessa tutkimuksessa $1,5 \text{ cd/m}^2$ keskimääräisen luminanssin pudottaminen 0 cd/m^2 :iin, eli sammuttamalla ulkovalaistus onnettomuudet osuudella lisääntyivät 25% [U.S. Department of Transportation 2001]. Tiehallinnon selvitysten mukaan valaistuksen parantaminen lisää liikenneturvallisuutta, mutta taloudellisista syistä 2 cd/m^2 :n keskimääräistä luminanssia ajoradalla ei kannata ylittää [Hautala 2003].

Valaistustason suotuisaa vaikutusta onnettomuustiheyteen on tutkittu myös muualla maailmassa. Esim. Australialaisessa tutkimuksessa on valaistustason parannuksella saavutettu 21 %, Englannissa 9 % ja Ruotsissa 11 % onnettomuuksien vähentyminen. Näissä tutkimuksissa tienpinnan luminanssin lähtö- ja lopputasoja ei kuitenkaan ole tilastoitu [Mäkelä, Kärki 2004].

Scottin tutkimuksissa 1980-luvulla tutkittiin onnettomuuksista yhteensä kahdeksaa ympäristön parametria, joista tienpinnan keskimääräinen luminanssi tuotti selvän korrelaation pimeällä ja valoisaan aikaan sattuneiden onnettomuuksien lukumäärien suhteen kanssa [Perel et. al 1983]. Kuvassa 2.2 on esitetty Scottin tutkimusten perusteella pimeän ja valoisan aikana tapahtuneiden onnettomuuksien suhteiden ja tienpinnan keskimääräisen luminanssin yhteys.



Kuva 2.2. Pimeän ja valoisan ajan onnettomuuksien suhteen ja tienpinnan keskimääräisen luminanssin korrelaatio [Hautala 2003].

2.3 Yhteenveto

Ulkovalaistuksen tärkeimmät funktiot ovat turvallisuuden ja turvallisuuden tunteen lisääminen. Tien pinnan luminanssin pienentyessä onnettomuusaste kasvaa, mutta käytännössä 2 cd/m^2 :n luminanssitasoa ei ole taloudellisesti kannattavaa ylittää.

3. OHJAUS JA SÄÄTÖ

Useilla kaupungeilla, kunnilla ja muilla ulkovalaistusta ylläpitävillä tahoilla on käytössään ohjausjärjestelmä tai –järjestelmiä, jotka ovat ikääntymässä ja sen seurauksena järjestelmän luotettava käyttö voi hankaloitua. Yhteistä järjestelmille on kello- tai hämäräkytkimeen perustuva keskitetty ohjauspaikka, siirtotie ohjaussignaaliille ja ohjauksen suorittava rele tai kontaktori. Ohjauksella tarkoitetaan tässä työssä kytkemistä päälle tai pois. Säädöllä tarkoitetaan tarkasteltavan suureen amplitudin muuttamista minimi- ja maksimiarvojen välillä. Tässä luvussa julkista ulkovalaistusta käsitellään toiminnallisista sekä käytännön näkökulmista.

3.1 Ohjaus

Ulkovalaistusverkkoihin on liitetty useita megawatteja tehoa. Helsingin kaupungissa on julkisilla ulkoalueilla yhteensä lähes 80 000 valopistettä, joiden lampputehot vaihtelevat yleensä 70-400 W välillä. Lampputehon lisäksi valopisteen yksikkötehoon on vielä lisättävä liitäntälaittehäviöt noin 15%.

Käsiteltäessä esimerkiksi 1000 valopisteen otosta missä tahansa ulkoalueilla, jos lamppuna pidetään tyypillistä 150W suurpainenaatriumlamppua, voidaan tarkastelujoukon tehon laskea olevan liitäntälaittehäviöineen noin 172 kW. Yhden tunnin aikana tämä pieni otos kuluttaa 172 kWh energiaa valon tuottamiseen, joka tarkoittaa 8 c/kWh hinnalla 13,8 euron kustannuksia tunnissa.

Eteläisessä Suomessa ulkovalaistuksen käyttötunteja on vuosittain noin 4000. Ulkovalaistusverkkoihin liitetty kuorma on niin suuri, että järkevällä ja hallitulla valaistuksen ohjauksella voidaan säästää sekä energiaa että rahaa. Esimerkiksi pääkaupunkiseudulla (Helsinki, Espoo, Vantaa) ulkovalaistusverkkoihin kytketty teho on lähes 30 MW. Jos tätä valaistuskuormaa poltettaisiin tarpeettomasti 30 minuuttia päivittäin, syntyisi siitä vuodessa yli 400 000 € ylimääräiset energiakustannukset. Yhteensä Suomessa on arviolta 900 000 – 1 100 000 julkisen ulkovalaistuksen valopistettä. Jos tätä valaistuskuormaa poltetaan vain minuutti, käytetään energiaa yhtä paljon kuin kerrostalossa asuva 3-4 henkinen perhe käyttää koko vuoden aikana.

Ohjauksella voidaan energiankulutuksen kannalta järkevän ja tehokkaan valaistuksen lisäksi tehdä myös erilaisia kausivalaistusratkaisuita, joista yleisin lienee joulunajan valaistusohjaukset joulukaduille ja muille ajankohdan tapahtumille. Normaalista ulkovalojen syttymis- ja sammumisrytmistä poikkeavat toimenpiteet on perinteisesti toteutetuissa ulkovalaistusverkoissa tehtävä käsin ja se aiheuttaa menoja asentajan työkustannuksina.

Ulkovalaistuksen ohjausjärjestelmän kannalta olennaisin asia on saada ohjaustoiminta suoritettua riittävän pienessä aikaikkunassa niin, ettei luonnonvalon ja ulkovalaistuksen luoman keinovalon vaihtumisalueelle synny tarpeettoman suurta kynnystä [Metso 1992]. Hieman porrastamalla ulkovalaistuksien alueellisia kytkentäajankohtia saadaan lisäksi jakeluverkosta poistettua suurimmat kytkentäpiikit.

Ulkovalaistuksen ohjausjärjestelmän on mukauduttava ulkovalaistusverkon normaaliin käyttöön. Kaikkien verkossa tavanomaisesti tehtävien ylläpitoon liittyvien toimenpiteiden, kuten keskuskohtainen sytytys huoltoa varten, jakorajojen siirto ym. on onnistuttava ilman järjestelmään liittyvien laitteiden uudelleen ohjelmointia.

3.1.1 Taajamat

Kaupunkialueilla katualueiden käyttäjäprofiili muuttuu kellonajan mukaan. Yhteistä on kuitenkin se että katualueella liikkuu sekä kevytliikennettä että ajoneuvoja, jolloin riski eri käyttäjäryhmien välillä tapahtuvalle konfliktille on olemassa. Lisäksi öisin vähäinenskin katualueiden käyttäjämäärä tarvitsee valoa turvallisuuden ja turvallisuuden tunteen luomiseksi. Katu-, puisto- ja kevytliikennereittien valaistusta ei ole siis tavallisesti syytä sammuttaa ohjauksella yöllä tai vähäisen käytön aikana.

3.1.2 Liikunta-alueet

Kaupungeilla ja kunnilla on ylläpitovastuullaan urheilukenttiä ja muita liikunta-alueita, jotka ovat usein liitetty ulkovalaistusverkkoon tai omana liittymänään sähköverkkoon. Tällaisilla alueilla ei ole yleensä käyttöä yöllä tai niiden käyttö saattaa olla kokonaan aikataulutettu esim. urheiluseurojen varaamien vuorojen perusteella, jolloin valaistuksen kytkeminen pois käyttämättä olevalla liikunta-alueella on perusteltua. Näillä alueilla kuormien pudotus hiljaisina aikoina on perusteltua senkin vuoksi, että kenttien valaistuksessa on usein kyse verrattain suurista tehoista yksittäisten heittimien voidessa olla jopa 1-2 kW tehoisia, jolloin kuormien pudottamisella saadaan aikaan myös säästöä juoksevilla kustannuksissa. Urheilukentillä värintoistominaisuuksiensa vuoksi hyvin käytettäväksi sopivat monimetallilamput ovat suuritehoisina lyhytikäisiä. Esimerkiksi 1500 W tai 2000 W monimetallilamput valmistajan ilmoittama polttoikä on vain n.3000 tuntia [Osram Sylvania 2004], joten valonlähteiden säästämiseksi ja vaihtovälin kasvattamiseksi tehokas ohjaus on tarpeen.

3.1.3 Häiriövalo

Häiriövalo on ei-toivottua hajavaloa, joka voi estää esimerkiksi taivaankappaleiden tarkkailun öisin. Perinteisesti ulkovalaisimissa on käytetty kupua ja puistoissa ja pihoidilla pallon muotoisia valaisimia, jotka aiheuttavat valon suoran suuntautumisen

korkeammalle kuin on tarve. Esimerkiksi pallonmuotoisen puistovalaisimen lampun valovirrasta noin puolet suuntautuu pallon yläpuolisen pinnan läpi taivaalle tilanteessa, jossa valoa tarvitaan valaisimen alapuolella maatasossa. Tämä ylös tai vaakatason yläpuolelle suuntautuva valo on yleensä tarpeetonta ja ei-toivottua, ei pelkästään taivaankappaleiden tarkkailun vaikeutumisen takia, vaan se saattaa myös häiritä ympäristössä olevien rakennusten ihmisiä tai eläimiä [Institution of Lighting Engineers 2005].

Vaikka suoraa valoa asennuksen yläpuolelle voidaankin estää tasolasilla tai muilla cut-off ratkaisuilla, suuri osa valosta heijastuu kuitenkin maasta ylöspäin taivaalle ja ympäristöön [Schreder 2005]. Häiriövalon määrää voidaan vähentää välttämällä ylivalaistusta ja valitsemalla kohteeseen tarkoitukseen sopiva valaistusluokka. Ohjauksella voidaan vähentää häiriövalon määrää pudottamalla turhaa valaistuskuormaa pois esim. liikunta-, varasto- ja teollisuusalueilta, joilla ei toimintaa öisin ole.

3.2 Sääto

Kun katualueen käyttäjämäärät ovat pienempiä kuin mitoitustilanteessa, mutta silti valaistuksen ohjaaminen pois on liian suoraviivainen toimenpide, voidaan valaistusta säätää pienemmälle teholla energian säästämiseksi. Useimmat ulkovalaistuksessa käytetyistä lampputyypeistä soveltuvat säädettäviksi, joten säästöpotentiaali voi ulkovalaistusverkon koosta riippuen olla suurikin.

Tiehallinto on toteuttanut muutamia kohteita, joissa valaistujen väylien valaistustasoa säädetään liikennemäärien ja keliolosuhteiden mukaan. Tien valaistukseen käytetään vain tarvittava määrä valoa ja energiaa kaikissa tilanteissa. Toteutetussa ratkaisussa säästetään energiaa ja estetään tarpeettoman häiriövalon leviäminen tien ympäristöön.

Ongelmana säätöjärjestelmien käytössä on se, että valaistusverkko on tyypillisesti rakennettu uudiskohteita lukuun ottamatta vuosia sitten, eikä liitantalaitte tai välttämättä edes lamppu ole säätökelpoinen. Moderneimmat säätöjärjestelmät edellyttävät usein elektronista liitantalaitetta, joiden käytöstä on Suomessa vielä vähän kokemuksia.

Säätöjärjestelmään päädyttyäessä voidaan tarkastella onko toteutettavalla valaistusratkaisulla tarpeen tai mielekästä valaista sama katualue tilanteen mukaan kahteen eri luokkaan. Näin säätö voi olla esim. kaksitehokuristimella toteutettu niin, että järjestelmä hallitsevien olosuhteiden mukaan valitsee joko korkeamman tai matalamman vaatimustason mukaisen luokan käyttöön. Olipa ratkaisu portaaton tai portaittain toteutettu, on valaistuksen mitoitus tehtävä suurimman valontarpeen

mukaisesti ja muina aikoina valonlähteestä otetaan ulos tätä maksimiarvoa pienempi valovirta.

Säätökriteerit ovat suurella osalla yleisiä teitä normaali, ja valaistusta säädetään tienkäyttäjien määrän tai sää- ja valaistusolosuhteiden mukaisesti. Kaupunkialueilla valolla on myös turvallisuuden tunnetta luova ominaisuus ja lisäksi valoa tarvitaan myös rikollisuuden ehkäisemistarkoituksessa [Joensuun kaupunki 2003]. Vaikka valaistus ei suoranaisesti vaikeuta rikoksen tekemistä se lisää kiinnijäämisriskiä ja voi näin vaikuttaa päätökseen tehdä rikos tai ei. Rikosten ennaltaehkäisevän vaikutuksen lisäksi valon viihtyisyyttä ja turvallisuuden tunnetta luovat ominaisuudet on tarkasteltava kaupunkialueella tapauskohtaisesti valaistuksen säätämistä harkittaessa.

Kaupunkialueellakin on säätökäyttöön sopivia ulkovalaistuskohteita. Esimerkiksi monet pää- ja kokoojakadut voivat olla soveltuvia säätökohteita, sillä näillä liikennemäärät pienenevät iltaisin ja lisäksi kevyen liikenteen osuus on vähäistä, jolloin säätämällä voitaisiin saada hyötyä energiansäästön muodossa. Valaistuksen säätö lisää kuitenkin onnettomuuksia, vaikka kadun käyttäjät eivät kokisikaan merkittävää heikkenemistä valaistuksen tasossa [Helsingin Energia 1996].

Eri lampputyypit toimivat erilailla säätökäytössä. Suurinta osaa valonlähteistä voidaan säätää, mutta säätöalue on lampputyypikohtainen ja lisäksi säätöalueeseen vaikuttaa käytetty liitälaitte. Kuitenkin esimerkiksi nopeasti yleistymässä oleva monimetallilamppu on vaikeasti säädettävissä, sillä sen tuottaman valon spektrijakauma saattaa muuttua voimakkaasti säätökäytössä [NLPIP 1994] [Hälonen, Lehtovaara 1992]. Elektronisilla liitälaitteilla on perinteisiä kuristinkytkentöjä laajempi säätöalue myös purkauslamppukäytössä, mutta niistä on vielä vähän kokemuksia Suomessa.

3.3 Yhteenveto

Ulkovalaistusverkkoihin kytketyn kuorman teho on suuri, joten tehokkailla ohjaus- ja säätötoimenpiteillä voidaan saavuttaa säästöjä. Energian säästötoimenpiteet tulee toteuttaa niin, että henkilö- ja omaisuusturvallisuustasot eivät laske.

4. OHJAUSJÄRJESTELMÄT JA -MENETELMÄT

Suomessa on käytössä useita erilaisia ulkovalaistuksen ohjausjärjestelmiä. Suurta osaa ulkovalaistusverkkojen valopisteistä ohjataan verkkokäskyohjausjärjestelmällä, mutta käytössä on myös muita ratkaisuja kuten vyöryntäohjaus ja tasajännitteisellä ohjausjännitteellä keskitetysti tapahtuva kauko-ohjaus. Ominaista järjestelmille on hämäläkytkimen, valokennon tai hämälätaulukon tietoihin perustuva ohjaus – kellokytkimiä käytetään lähinnä yksityisten omistamien ulkovalaistuksien kytkemiseen, tosin maaseudulla on joitain yksittäisiä kellolla ohjattuja julkisiakin ulkovalaistuskeskuksia.

Julkisten teiden ulkovalaistuksen sähköistys poikkeaa kaupunkialueiden ulkovalaistusverkon sähköistyksestä topologiaaltaan. Kaupungeissa pyritään usein silmukoihin, joita erotetaan jakorajoilla, mahdollisten kaapelivaurioiden tapahtuessa vian aiheuttaman pimeäksi jääneen kadunpätkän uudelleen valaisemiseksi syöttösuuntaa vaihtamalla. Yleisten teiden sähköistys on usein säteittäinen, joten jakorajojen muutosten tuottamia ongelmia ei ohjausjärjestelmää valittaessa tarvitse huomioida. Toisaalta säteittäisessä verkossa menetetään varasyöttömahdollisuus esim. kaapelivian yhteydessä [Elovaara, Laiho 1999].

Tässä luvussa käsitellään yleisimpiä ulkovalaistuskäyttöön soveltuvia järjestelmiä jaoteltuna niiden käyttämän siirtotien mukaan sekä tutkitaan järjestelmien vahvuuksia ja niiden käyttöön liittyviä riskejä. Siirtotieperusteinen jaottelu valittiin siksi, että se on ominaisuus, jolla ominaisuuksiltaan muutoin hyvin samankaltaiset järjestelmät eroavat selvästi toisistaan. Lisäksi käsitellään ulkovalaistuksen ohjausjärjestelmien kehitystä Suomessa sekä tarkastellaan järjestelmien kehitystilannetta ulkomailla.

4.1 Historia

Helsingissä ulkovalaistuksen kauko-ohjausta alettiin rakentaa 1930-luvun puolivälissä. Silloin kauko-ohjausjärjestelmää rakennettiin keskikaupungilta Töölöön ulottuvalla alueella ja myöhemmin vuonna 1938 myös näiden alueiden ulkopuolella [Helsingin Kaupungin Sähkölaitos 1937] [Turpeinen 1984].

Keskitetyt vyörytysohjausjärjestelmät ovat vanhimpia ohjausjärjestelmiä ja toimivan perustekniikan vuoksi ne ovat edelleen käytössä monien kaupunkien julkisen ulkovalaistuksen ohjausjärjestelmissä pääjärjestelmänä tai täydentämässä jotain muuta järjestelmää. Esimerkiksi Lappeenrannan ja Lahden kaupunkien alueella toimivat vyörytysohjausjärjestelmät ovat pohjimmiltaan 1950 –luvulta.

1960 –luvun loppupuolella verkkokäskylaitteita alettiin asentamaan Suomessa eri sähköasemille. Ensimmäinen verkkokäskylähetin Helsingissä asennettiin Pitäjänmäen sähköasemalle vuonna 1968. Tämän jälkeen alkoi VKO- eli verkkokäskyvastaanottimien koeasennukset ja seuraavat lähettimet asennettiin vuonna 1971 Herttoniemen ja Myllypuron sähköasemille. Samanaikaisesti tehtiin lähetinasennus myös Tammistoon. Tämän jälkeen verkkokäskylähettimiä rakennettiin 20 kV alueelle ja viimeisenä siirryttiin kantakaupungin 10 kV –verkon alueelle, jossa suurin osa ohjausjärjestelmän käytöstä oli ja on edelleen ulkovalaistuksen ohjaustoimintaa. Verkkokäskyjärjestelmää alettiin käyttää ulkovalaistuksen ohjaukseen 1970-luvulla ja koko kaupungin ulkovalaistuksen ohjauksessa verkkokäskyjärjestelmä oli toiminnassa vuonna 1978.

Tampereella alettiin 1960-luvulla rakentaa erillistä ulkovalaistuksen ohjaustarkoituksiin sopivaa kaapeliverkkoa. Järjestelmä on edelleen käytössä, mutta sitä täydennetään muilla järjestelyillä niiltä osin, kun kaapeliverkkoa ei ole rakennettu.

1970-luvun alkupuolella Vantaan alueella aloitettiin laajamittaisemmat verkkokäskylähettimien asennukset. 1970 –luvun lopussa Lahti siirtyi käyttämään radiojärjestelmää ohjauskomentojen siirtoon valvomosta ala-asemille.

1980-luvulla Espoo liittyi verkkokäskyohjausjärjestelmää ulkovalaistuksen ohjaukseen käyttävien kaupunkien joukkoon. Samoihin aikoihin Forssa otti ohjauskaapelit käyttöön ulkovalaistuksen ohjausjärjestelmänsä osana.

1990-luvun puolivälissä Espoo alkoi täydentää verkkokäskyohjausta säästömuuntajilla, jotka vähentävät energiankulutusta yöllä. Viimeisimmät verkkokäskylähettimet Vantaan sähköasemille asennettiin 1990-luvun loppupuolella.

Suomessa kehittyneempiä valaistuksen ohjausjärjestelmiä on otettu myöhemmin 1990-2000-luvuilla käyttöön eri puolilla maata. Sähköverkkotiedonsiirtoon perustuva Enermetin Melko ja AIM ovat tuotteita, joita käytetään ulkovalaistuksen ohjaustarkoituksissa esimerkiksi Turussa ja osittain Tampereella. Oulussa Elektro Arolan valmistama keskustasolla ohjauksia tekevä Uvo Pro -tuote otettiin käyttöön 2000-luvun alkuvuosina. Tiedonsiirtotienä Oulun järjestelmässä on UHF-radiokanavat (Ultra High Frequency).

Tiehallinto aloitti nykyaikaisempien ulkovalaistuksen ohjausjärjestelmien käyttöönoton 2000-luvulla, ensin valtatiellä 1, sitten 2005 Kehä III:lla Vantaalla ja Satamatiellä Helsingin Vuosaarella. Näissä uusissa järjestelmissä ohjaus ja säätö tapahtuvat valaisinkohtaisesti. Pieksämäki aloitti ulkovalaistuksen kehittämisprojektinsa vuonna

2005, jolloin ensimmäiset kotimaista tuotantoa olevat valaisinkohtaiset langattomat ohjauslaitteet otettiin pilottikäyttöön.

4.2 Verkkokäskyohjaus

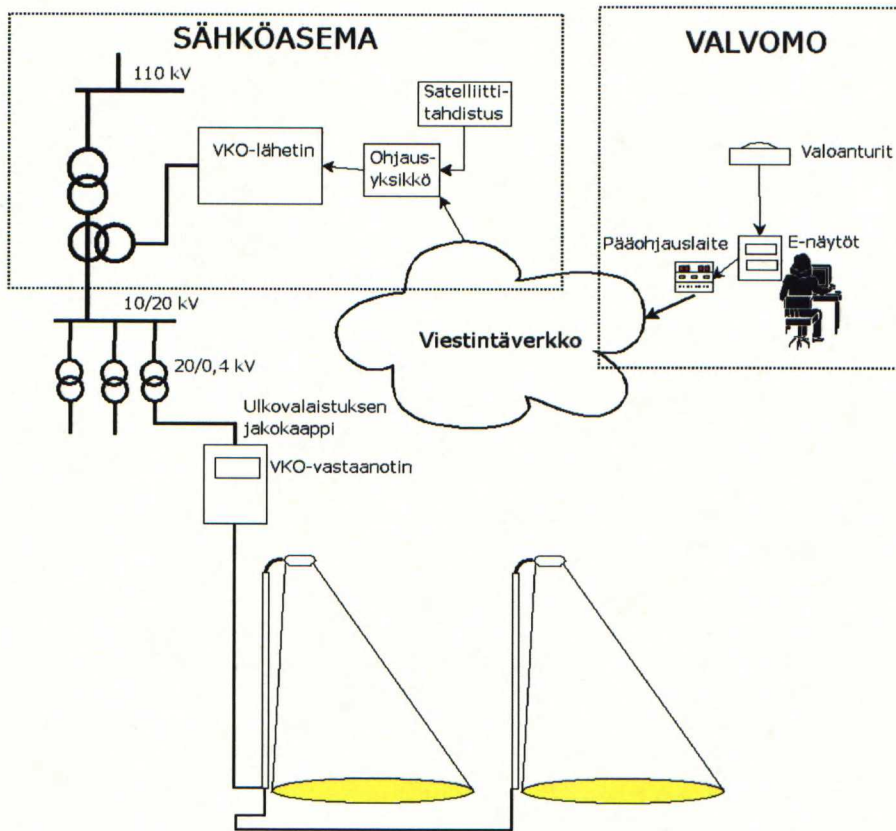
Verkkokäskyohjaus on erityisesti pääkaupunkiseudulla yleisesti käytössä oleva ulkovalaistuksen ohjausmenetelmä. Siinä ohjaussignaali kuljetetaan jakeluverkossa vastaanottajille. Verkkokäskyjärjestelmien piirissä on pääkaupunkiseudulla yhteensä lähes 150 000 valopistettä. Verkkokäskyjärjestelmää käytetään ulkovalaistuksen ohjauksen lisäksi myös kaksitariffi- ja yösähkökuormien kytkemiseen esim. sähkölämmityksellä varustetuissa kiinteistöissä. Koska perinteisesti jakeluverkon ja ulkovalaistuksen organisaatiot ovat olleet lähellä toisiaan ja molempien osapuolten tarpeet on voitu tyydyttää yhteisellä verkkokäskyohjausjärjestelmällä, on järjestelmä laajasti käytössä. Uudet tilanteet sähkömarkkinoilla ovat johtaneet eri organisaatioiden asteittaiseen erkanemiseen toisistaan ja toisaalta uudet tekniikat ovat tuoneet uusia mahdollisuuksia esimerkiksi sähkön kulutusmittaukseen, jolloin verkkokäskyjärjestelmän tarve kuormien ohjauksessa on vähentynyt ja tulee vähenemään jatkossakin. Samanaikaisesti kun verkkokäskyohjauksia välittävät organisaatiot tarvitsevat järjestelmää vähemmän ja vähemmän, jos lainkaan, kasvaa muiden järjestelmää käyttävien tahojen paine siirtyä pois tekniikan piiristä järjestelmän organisaatorajoista johtuvien hallinnollisten syiden ja kasvaneiden kunnossapitokustannusten vuoksi. Koska eri organisaatioiden intressit järjestelmän käyttämiseen voivat muuttua ajan mittaan esimerkiksi tekniikan kehittyessä, saattaa VKO-järjestelmän käyttöaste muuttua ja järjestelmän ylläpidosta voi tulla omistajalleen kannattamatonta. Sähkönmittauksen kaukoluennan yleistyminen viimeaikoina on osaltaan vaikuttamassa olemassa olevan verkkokäskyohjauslaitteistokannan synkempään tulevaisuudennäkymään, sillä sähkönkaukoluennan yleistyessä sama järjestelmä voi yleensä suorittaa myös tariffiohjaukset ja muut sähkön myynnin ohjaustarpeet. Verkkokäskylaitteistojen tekniikka on vanhaa, ja se on usein teknisestikin elinkaarensa päässä, sillä suuri osa järjestelmän olemassa olevasta laitteistokannasta on asennettu vuosikymmeniä sitten. Vaikka Suomessa järjestelmän käytöstä poistumista harkitaan ainakin paikallisesti, on laitekannan kysyntä edelleen voimakasta Keski-Euroopassa. Järjestelmätoimittajien tietojen mukaan Saksassa jopa uusien järjestelmien kysyntä on kasvanut viimeaikoina.

Verkkokäskyt ovat äänitaajuisia signaaleja, joihin halutut viestit moduloidaan. Verkossa siirrettävän signaalin kantoaallon taajuus on normaalisti välillä 100 – 1350 Hz. Esimerkiksi Helsingin Energian käyttämä verkkokäskytaajuus on 175 Hz, taajuus joka osuu verkkotaajuuden 3. ja 4. harmonisen yliaallon väliin. Taajuudeltaan pienet

signaalit pienjännite- eli PJ-verkossa voivat olla ongelmallisia loistehon kompensoinnissa käytettävien estokelaparistojen kanssa. Estokeloja käytetään yleisesti suojaamaan loistehon kompensointiparistoja verkoissa, joissa on yliaaltojen aiheuttama resonanssivaara. Estokelan viritystaajuuden osuessa lähelle verkkokäskysignaalin taajuutta, pienenee verkon impedanssi ko. taajuudella estokelapariston kohdalla. Tällainen tilanne voi johtaa verkon oikosulun kaltaiseen tilaan kyseisellä taajuudella. Jos impedanssi on hyvin pieni, voi verkkokäskyjärjestelmän signaali vaimentua liikaa ja johtaa ohjaustoimenpiteiden toteutumatta jäämiseen [HelenVerkko 2003] [Elovaara, Laiho 1999].

4.2.1 Järjestelmän osat ja toiminta

Järjestelmän ohjauskäsky tulee valoanturilta, joka antaa verkkokäskyohjausjärjestelmän pääohjauslaitteelle tiedon siitä, että ohjauskomento pitää antaa. Pääohjauslaite toimittaa ohjaussignaalin kaikilla sähköasemilla oleville VKO-lähetinlaitteistoille, jotka moduloivat verkkokäskyn keskijänniteverkon jännitteeseen [Elovaara, Laiho 1999]. Signaali kulkee keskijänniteverkosta jakelumuuntajien läpi pienjännitepuolelle, jossa ulkovalaistuksen jakokaappeihin sijoitetut verkkokäskyvastaanottimet purkavat verkkojännitteestä ohjaussignaalin ja suorittavat tämän mukaisen ohjaustoiminnon. Ohjauskosketin ohjaa ulkovalaistusryhmien kontaktoria, joka suorittaa varsinaisen ryhmien päälle tai pois kytkennän.



Kuva 4.1. Verkkokäskyjärjestelmä ulkovaistuksen ohjauksessa.

Helsingissä toteutettu ohjausjärjestelmä koostuu seuraavista komponenteista:

- Pääohjauslaite, 1 kpl
- Valoanturi (kahdennettu), 1 kpl
- Verkkokäskyn lähetinlaitteisto, n. 20 kpl
- Verkkokäskyn vastaanotinlaitteisto, n. 1700 kpl

Järjestelmän osia tai komponentteja, kuten valoanturi tai lähetin, voidaan kahdentaa redundanttisuussyistä.

Koska verkkokäskyohjausjärjestelmällä voi olla useita eri käyttäjäorganisaatioita, on järjestelmän omistaja vastuussa asiakkailleen järjestelmän toiminnasta.

Eri valmistajien verkkokäskylaitteistot eroavat toisistaan lähinnä signaalin modulaatiotekniikaltaan sekä toiminnallisilta yksityiskohdiltaan. Yleisimmät modulaatiotavat ovat pulssijakso- ja pulssivälimenetelmät. Kehittyneemmissä verkkokäskyvastaanottimissa on joitain hyödyllisiä ominaisuuksia perusversioon verrattuna, kuten kalenteri ja itse oppiminen edellisten ohjausten perusteella.

20 kV verkkoon liitettävän verkkokäskyohjauslaitteiston tekninen käyttöikä on korkeintaan 25-30 vuoden luokkaa. Elinkaarensa lopussa lähetinlaitteisto uusitaan

sähköasemakohtaisesti. Investointina yhden sähköaseman verkkokäskylähetin on kohtalaisen suuri ulkovalaistusorganisaation yksin maksettavaksi: yhden 20 kV laitteiston uusimisen kustannukset voivat olla lähes 200 000 euroa.

4.2.2 Vikaskenaariot

Ohjaukseen tarvitaan siis kaksi erillistä viestintäverkkoa sekä hierarkisesti kahdella tasolla tapahtuvaa ohjaustoimintaa. Järjestelmässä on useita kohtia, joissa voi tapahtua virhe tai ongelma, joka estää valaistuksen päälle tai pois kytkennän joko kokonaan tai väärään ajankohtaan.

Valoanturin likaantuminen, asennon muuttuminen tai kalibroinnin ryömiminen aiheuttaa kytkentäajankohdan siirtymistä. Jos anturin toimintaa häiritsee esimerkiksi pöly tai muu lika, siirtyy ulkovalaistuksen päälle kytkentä ajankohta aikaisemmaksi ja sammutus vastaavasti myöhemmäksi. Suurta vahinkoa tästä ei lyhyellä aikavälillä tapahdu, mutta ajan mittaan tarvetta pidemmät polttoajat aiheuttavat tarpeettomia kustannuksia. Vian aiheuttamat ongelmat on estettävissä kahdentamalla valoanturi – kuten Helsingissä on tehty -, jolloin toisen vikaantuminen ei aiheuta virheellisiä ohjaustoimenpiteitä.

Pääohjauskojeen vikaantuminen tai sen ja VKO-lähetinlaitteistojen välisen viestintäverkon vikaantuminen voi aiheuttaa tilanteen, jossa VKO-lähetinlaitteistot eivät saa ohjaussignaalia. Vian seurauksena ulkovalaistus voi jäädä väärään tilaan ja esim. valaistuksen päälle kytkentä voi jäädä tekemättä. Vika on kuitenkin helppo havaita sen laajamittaisuuden vuoksi ja se voidaan kiertää tekemällä ohjaustoiminto käsin.

Verkkokäskylähettimen vikaantuminen voi aiheuttaa sähköaseman toiminta-alueen laajuisen vian, jossa alueen ulkovalaistus jää esim. kytketymättä päälle ohjaussignaalin puuttuessa. Vika on laajuutensa takia ikävä ja lisäksi kohtalaisen kallis korjata, mutta kuitenkin nopeasti paikallistettavissa korjaustoimenpiteiden aloitusta varten. Kehittyneemmät VKO-vastaanottimet kuitenkin voivat varmistuksena oman kalenterin ja historiatiedon perusteella suorittaa valaistuksen ohjaustoiminnot, vaikka verkkokäskylähetin ei ohjaussignaalia niille lähettäisikään.

VKO-vastaanottimet ovat ulkovalaistuksen jakokaapeissa, ja niihin vaikuttavat olosuhteet ovat haasteellisia. Vastaanottimien käyttölämpötilat ulottuvat normaalisti -20 .. +60 °C alueelle [Siemens n.d.], mutta eteläisessäkin Suomessa talvisin lämpötilat saattavat ulottua tämän alueen alapuolelle. Lisäksi ulkoilman kosteus ja kosteuden tiivistyminen laitteessa voi aiheuttaa ongelmia. Tavallisesti VKO-vastaanottimen vika ilmenee ulkovalaistuksen jakokaapin laajuisena vikana, jolloin ulkovalaistus kyseisellä alueella ei toimi. Vian havaitseminen edellyttää yleensä vikailmoitusta asiakkailta tai

omalta henkilöstöltä, sillä jakokaapeilta ei tavallisessa VKO-järjestelmässä ole tiedonsiirtoa ylöspäin järjestelmähierarkiassa.

Verkkokäskysignaalin heikkeneminen hetkellisesti pienjänniteverkon ominaisuuksien muuttuessa on kaikkein yleisin VKO-järjestelmän vioista. Tällöin ohjaussignaalin amplitudi ei ole riittävän suuri ohjauspäätöksen tekemistä varten. Tällaisia tilanteiden varalta lähetetään ohjauskomento uudelleen hetken kuluttua. Kahdentamalla ohjauskomento esitetyllä tavalla pystytään viestin perillemenon todennäköisyyttä lisäämään.

4.2.3 Edut ja haitat

VKO-järjestelmän hyviä puolia on se, ettei järjestelmä vaadi toimiakseen pääohjaimen ja VKO-lähettimien ohjausyksiköiden välisen viestintäverkon lisäksi muita kaapelointeja, sillä signaalit kuljetetaan ohjattavien laitteiden toimintaan muutenkin tarvittavassa pienjänniteverkossa. Järjestelmän vahvuutena on sen varmatoimisuus ja toisaalta komponenttien valmistajariippumattomuus.

Järjestelmän komponentit, erityisesti hierarkian sähköasematasolla ovat kohtalaisen kalliita, joten järjestelmän korjauskustannukset voivat olla suuriakin.

Vaikka järjestelmä tekeekin sille tarkoitetut toiminnot hyvin ja luotettavasti, on sen haittapuoleksi luettava tiedonsiirron kehittymättömyys. Koska tietoa järjestelmissä voidaan siirtää vain kuorman suuntaan, ei ohjauskomentojen perillemenosta voida olla varmoja. Lisäksi mittauksella varustetuissa ulkovalaistuskeskuksissa on energiankulutus käytävä lukemassa mittauspisteestä.

Suurin haitta verkkokäskyjärjestelmässä on järjestelmän raskas rakenne ominaisuuksiin nähden. Järjestelmän rakenteen vuoksi laitteistoja tarvitaan myös sähköasemilla ja signaalia kuljetetaan keskijänniteverkossa, joten luontevin ylläpitäjä verkkokäskyohjausjärjestelmälle on paikallisen energialaitoksen sähköverkosta vastaava organisaatio.

4.3 Radioverkkokäskyohjaus

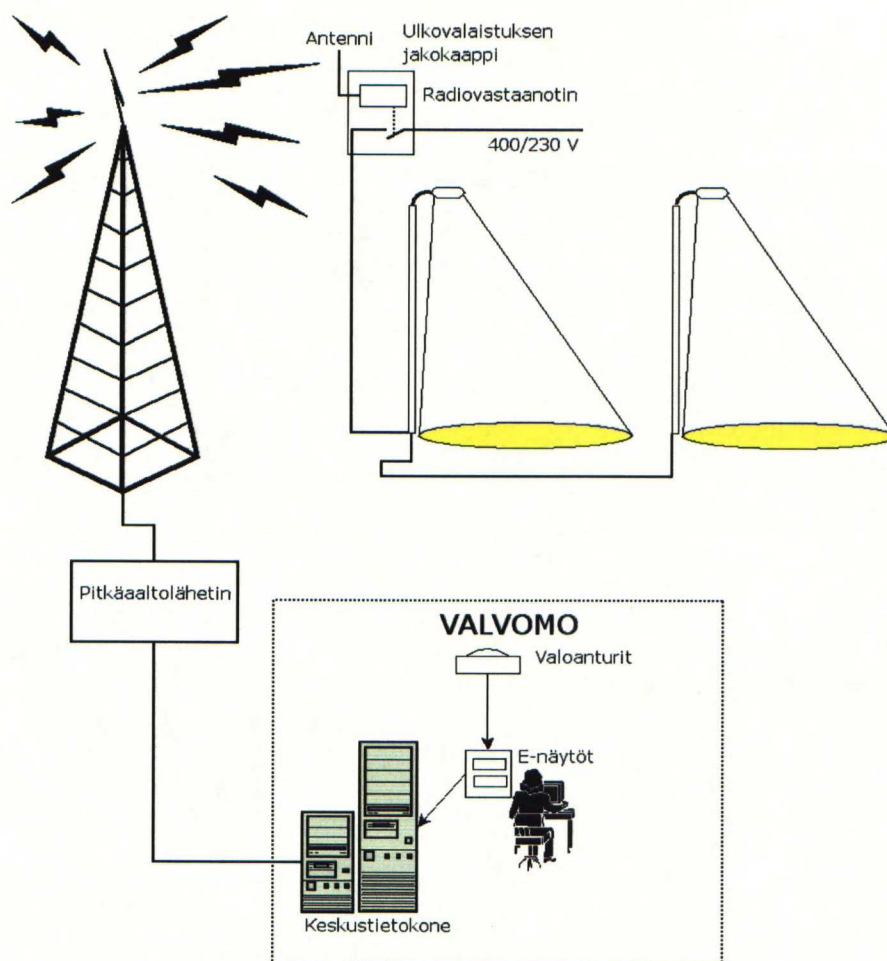
Keski-Euroopassa on käytössä radioteitse toimiva verkkokäskyjärjestelmän kaltainen ohjausjärjestelmä. Järjestelmällä ei kuitenkaan ole muuta yhteistä pienjänniteverkon kautta toimivan verkkokäskyohjausjärjestelmän kanssa kuin tehtävänä oleva ulkovalaistuskuormien kytkentä.

4.3.1 Järjestelmän osat ja toiminta

Kuten kaikissa keskitetyissä valaistuksenohjausjärjestelmissä, myös radioVKO:ssa ohjauspäätökset tehdään järjestelmähierarkiassa ylimpänä. Täällä valoanturi mittaa valaistusvoimakkuutta ja raja-arvojen kohdalla tekee ilmoituksen saadakseen alasemille viestin ulkovalaistuksen kytkemiseksi päälle tai pois päältä. Järjestelmään voidaan liittää myös muita ohjauslaitteita ja ohjauksia voidaan tehdä myös tietoverkkojen välityksellä. Ohjaussignaali toimitetaan esimerkiksi puhelinverkossa ISDN-yhteyttä (Integrated Services Digital Network) tai erillistä pakettikytkentäistä X.25-verkkoa pitkin kahdennetulle keskustietokoneelle, joka tekee varsinaisen pääohjaustoimenpiteen pitkäaaltolähtetimelle. Lähettimestä signaali levitetään antennin kautta niin kauas kuin radioaalto ilmassa etenee. Lähettimen tehot Saksassa olevilla järjestelmillä on 50 – 100 kW ja FSK (Frequency Shift Keying) moduloidun signaalin on lähetystaajuus 129,1 tai 139 kHz. Vastaanotto tapahtuu radiovastaanottimella, joka purkaa signaalin ja suorittaa kuormien kytkennän joko suoraan tai kontaktorin välityksellä. Vastaanotin voi järjestelmässä olla joko keskitetysti jakokaapissa tai valaisinkohtaisesti esimerkiksi kytkentäkoteloon asennettuna [Europäische Funk-Rundsteuerung 2005].

Järjestelmän käyttämä radioaalto on aallonpituudeltaan niin suuri, että sillä on kohtalaisen hyvät tunkeutumisominaisuudet tavallisimpiin rakennusmateriaaleihin ja maaperään. Signaali voidaan siis vastaanottaa sisätiloissa ja kellareissakin ilman ulkopuolisten antennien tarvetta. Radioaalto etenee ilmassa suoraan tai heijastumalla. RadioVKO-järjestelmässä signaalin kantama voi olla suotuisissa ilmastollisissa olosuhteissa hyvinkin pitkä, sillä osa radioaallosta heijastuu ionosfääristä takaisin kohti maata ja pienillä kohtaamiskulmilla yhden heijastuksen avulla voidaan saavuttaa tuhansien kilometrien vastaanottoetäisyydet [Europäische Funk-Rundsteuerung 2005].

Tiedonsiirto radioVKO:ssa on yksisuuntaista, ellei sen rinnalla ole erillisen verkon kautta toimivaa paluukanavaa, josta esimerkiksi kulutustietoja voidaan hakea tai ohjauksen kuittauksia voidaan tehdä. Paluukanavana mittaustietoja yms. varten voi toimia esim. julkinen piirikytkentäinen puhelinverkko (PSTN), langaton GSM-verkossa (Global System for Mobile communication) toimiva pakettiradioverkko GPRS (General Packet Radio Service) tai erilaiset puhelinverkossa tapahtuvan pakettipohjaisen tiedonsiirron järjestelmät, kuten Asymmetric Digital Subscriber Line eli ADSL tai Very high bitrate Digital Subscriber Line eli VDSL.



Kuva 4.2. Radio VKO-järjestelmä ulkovaalaistuksen ohjauksessa.

4.3.2 Vikaskenaariot

RadioVKO-järjestelmä poikkeaa normaalista pienjänniteverkossa toimivasta verkkokäsäkyohjausjärjestelmästä hieman kevennetyllä hierarkiallaan. Koska valaistuskuormia kytkevät laitteet seuraavat suoraan päälähetintä, on koko järjestelmän toimivuus kiinni radioaallon etenemisestä vastaanottimille. Jos signaalia ei esimerkiksi lähetinlaitteiston tai antennin vikaantumisesta johtuen saada perille, on koko järjestelmä toimintakyvytön. Suurin osa Saksaa onkin kahden eri taajuudella toimivan lähettimen alueella, jolloin toisen lähettimen vikaantuessa on vielä mahdollista vastaanottaa toisen lähettimen ohjaussignaali.

Valaisinkohtaista vastaanotinta käytettäessä voi sekundäärinen ohjauskomentojen vastaanottaminen olla tilanpuutteen vuoksi mahdotonta. Sen sijaan jakokaappikohtaisen ohjaussignaalin vastaanottoyksikön toimintaa voi vielä täydentää esim. logiikalla, joka voi varsinaisen ohjauskomennon puuttuessa tehdä kuormien kytkennän hämärätaulukon perustuen.

4.3.3 Edut ja haitat

Vaikka radioVKO:n käyttöönottamista Keski-Euroopassa helpottaakin olemassa oleva infrastruktuuri ja sitä kautta edulliset aloituskustannukset, ei sikäläistä järjestelmää voi Suomessa asti hyödyntää. Keski-Euroopassa olevien Burgin ja Mainflingenin lähettimien kuuluvuusalue on keskittynyt Saksaan ja lähetyksiä voidaan kuulla Suomessa vain hyvien radio-olosuhteiden vallitessa.

Järjestelmän toiminta-alue on niin suuri, että sen alueella erilaisista ilmastollisista tai puhtaasti maantieteellisestä sijainnista johtuvista syistä valaistuksen ohjaukseen ei riitä yksi ohjauskäsky. Väistämättä joillain alueilla ulkovalaistus kytkeytyy päälle liian myöhään aiheuttaen vaaraa tienkäyttäjille tai ne kytkeytyvät päälle liian aikaisin aiheuttaen turhia energiakustannuksia. Tämän ongelman voisi kiertää sijoittamalla alueellisia valoantureita, jotka ulkopuolisia tietoverkkoja pitkin toimittaisivat mittaustietonsa keskustietokoneelle. Keskustietokoneella ohjaussignaali koostettaisiin useista biteistä, jolloin esimerkiksi jokaista erikseen ohjattavaa aluetta kuvaa yksi bitti ohjausviestissä.

Suomeen pitäisi rakentaa oma lähetinlaitteisto järjestelmää varten, joten aloituskustannukset nousisivat tällä ratkaisulla merkittävästi Keski-Euroopan vastaaviin verrattuna.

Järjestelmän luonne on sellainen, että toteutustavasta riippuen laitteiston käyttöön tarvitaan useita sidosorganisaatioita. Tavallisesti ulkovalaistuksesta vastaavat organisaatiot eivät harjoita muuta radiotoimintaa, joten lähetinlaitteiston ylläpitäminen on selvästi oman liiketoiminta-alueen ulkopuolella ja edellyttää kumppania oman organisaation ulkopuolelta. Lisäksi kaksisuuntaisuutta tiedonsiirtoon tai alueellisia valoantureita haluttaessa tarvitaan tiedonsiirtoyhteyksien ostoa, vuokraamista tai rakentamista.

RadioVKO järjestelmän laaja toimintasäde on hyvä esim. koko maan laajuisen ohjausjärjestelmän toteuttamista ajatellen. Lisäksi Keski-Euroopassa oleva valmis lähetinjärjestelmä helpottaa järjestelmän käyttöönottoa paikallisesti, mutta Suomessa tätä olemassa olevaa järjestelmää ei voida hyödyntää riittävän luotettavasti.

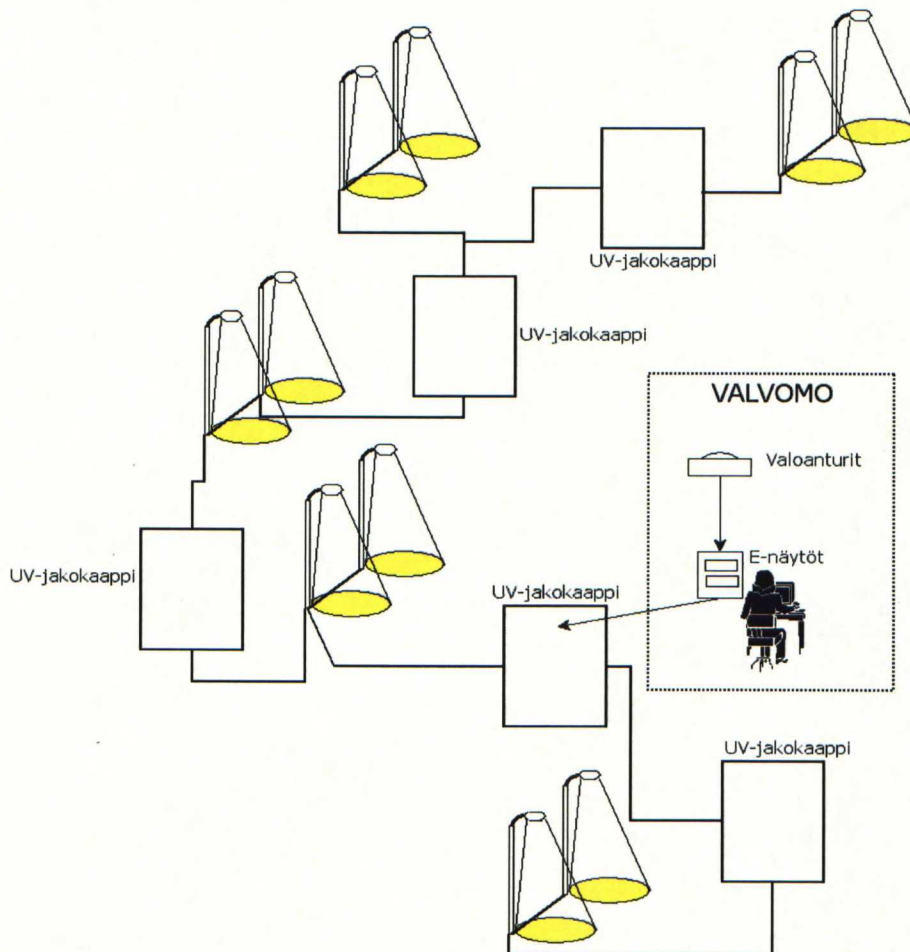
Muita radioteitse toimivia ohjausjärjestelmiä käsitellään myöhemmin luvussa 7.

4.4 Vyörytysohjaus

4.4.1 Järjestelmän osat ja toiminta

Vyörytysohjaus on perinteinen ja varmatoiminen ohjaustapa, jossa yhteen ohjauspisteeseen tuotu heräte toistetaan edelleen seuraavalle ohjauspaikalle, joka

edelleen toistaa ohjauksen eteenpäin jne. Ohjauksen herätteinä toimivia valoantureita voidaan sijoittaa verkkoon useampia pienentämään mahdollisen vika-alueen laajuutta. Järjestelmään ei valoanturina toimivan hämäräkytkimen ja ulkovalaistuskeskusten lisäksi kuulu muita merkittäviä komponentteja. Ohjausviesti keskukselta toiselle voidaan toteuttaa ryhmäjohtoon jännitteen avulla tai käyttämällä erillistä ohjausjohtoa. Järjestelmästä käytetään myös nimityksiä vyöryntäohjaus tai ketjutettu ohjaus.



Kuva 4.3. Vyörytysmenetelmä ulkovalaistuksen ohjauksessa.

Vyörytysohjaus on yleisesti käytössä täydentämässä muita ohjausjärjestelmiä, kuten esim. Forssassa, jossa ohjausviesti toimitetaan ensimmäiselle UV-ohjauskeskukselle erillistä ohjauskaapelia pitkin ja siitä eteenpäin vyörytyksellä. Lahdessa ulkovalaistuksen ohjaus tapahtuu pääasiassa vyörytyksellä ala-asemilta hierarkiassa alaspäin.

4.4.2 Vikaskenaarit

Vyörytysohjausjärjestelmän häiriöt ovat lähinnä tilanteita joissa ohjausketju katkeaa. Koska ohjaus on eräänlainen ketjureaktio, voi ketjun yläpäässä tapahtuva vika

aiheuttaa hyvin laajoja vikoja. Muuttuvassa kaupunkiympäristössä kaapelivauriot voivat aiheuttaa tällaisia vikoja taajaan.

4.4.3 Edut ja haitat

Järjestelmän yksinkertaisuuden ja vähäisen kerrostuneisuuden vuoksi vyörytysohjausjärjestelmä on edullinen toteuttaa. Järjestelmän käyttäminen edellyttää ulkovalaistusverkon tarkkaa ja huolellista dokumentointia, sillä keskusalueelta toiselle vietävä ohjausjännite voi aiheuttaa vaaratilanteita, mikäli sitä ei ole asianmukaisesti dokumentoitu. Vyörytysohjauksen käyttö on yksinkertaista, mutta vika-altista. Inhimillisistä syistä johtuvat häiriöt voivat johtaa laaja-mittaisiin vikoihin yhtälailla kuin fyysiset viatkin. Jakorajojen muutokset tai huoltotoimenpiteiden yhteydessä tehdyt työkohteen erottamiset esim. huolto- tai turvakytkimillä voivat huolimattomasti toteutettuina aiheuttaa häiriön, joka estää hierarkiassa koko häiriöpaikan alapuolisen verkkosegmentin toiminnan. Valonlähteiden yksittäisvaihdot voivat johtaa tarpeettoman laajaan valojen sytyttämiseen, joka aiheuttaa energiakustannuksia, erityisesti jos vaihto tehdään hierarkian yläpäässä olevassa verkon osassa.

4.5 Valaisin- /ryhmäkohtainen valokenno

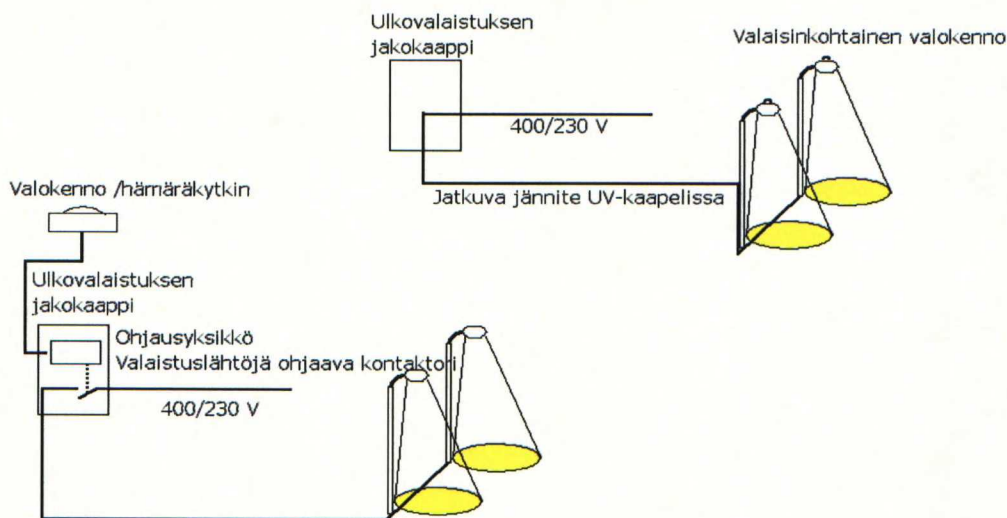
Tavallisesti pienessä mittakaavassa tehtävä hämäräkytkinohjaus on yksinkertainen toteuttaa ja kohtalaisen immuuni laajoille häiriöille. Ainoana huoltokohteenä on valokennon linssi, joka on puhdistettava tarvittaessa. Suuremmassa mittakaavassa toteutettu hämäräkytkinjärjestelmä voidaan toteuttaa esimerkiksi jakokaapeittain asennettavalla hämäräkytkimellä tai jopa valaisinkohtaisilla valokennoilla. Järjestelmän variaationa on ratkaisu, jossa ohjaustieto vielä vyörytetään seuraavalle keskukselle jne.

4.5.1 Järjestelmän osat ja toiminta

Järjestelmänä toteutettu hämäräkytkinratkaisu koostuu käytettyjen valaisimien lisäksi hämäräkytkimestä ja ulkovalaistuksen jakokaapista. Kun hämäräkytkimen kosketintieto ilmoittaa valotason olevan niin alhainen, että kuormien päälle kytkennän voi suorittaa, vetävät ulkovalaistusryhmien kontaktorit sytyttäen ulkovalaistuksen.

Järjestelmä voidaan toteuttaa yksittäisillä valaisinkohtaisilla valokennoillakin, jolloin kukin valaisin tarkkailee itse oman ympäristönsä valaistusvoimakkuutta ja tekee ohjauspäätöksen sen mukaisesti. Valaisinkohtaisesti omilla valokennoilla varustetussa järjestelmässä jännite on vietävä ulkovalaistuspylväälle jatkuvana, valokennojen käyttöjännitettä ja tarpeen tullen valaisimen syöttöjännitettä varten.

Normaalisti järjestelmästä ei ole tiedonsiirtoa esimerkiksi ulkovalaistusorganisaation tietojärjestelmiin. Järjestelmiä, joista tiedonsiirto ja hallintatyökalutkin löytyvät, valmistaa mm. englantilainen Royce Thompson.



Kuva 4.4. Valaisin- ja ryhmäkohtaisien ohjausjärjestelmien rakenteet.

4.5.2 Vikaskenaariot

Järjestelmä on riippuvainen valokennon toiminnasta siten, että toteutustavasta riippuen vaihteleva määrä valaisimia on alttiina vikaantuneen valokennon aiheuttamille kytkentäongelmille. Huoltokohteiden määrä kasvaa valokennojen lukumäärän kasvaessa likaantumisen ja ilkvallan aiheuttaman toiminnan häiriintymisen muodossa, toisaalta yhden valoanturin vikaantuminen ei lamautakaan koko järjestelmää.

4.5.3 Edut ja haitat

Järjestelmän etu on valaistusteknisesti oikeatasoinen kytkentäajankohta. Ulkovalaistuksen syttyminen kapeilla ja varjoisilla kaupunkikujilla ennen esim. länteen avoimia ja valoisia ulkoilualueita tuntuu loogiselta, sillä valaisimen kohdalla havaittava valaistusvoimakkuus on likimain sama kuin kadunkäyttäjän havaitsema valaistusvoimakkuus katualueella. Haittana järjestelmällä on huoltotarpeen lisääntyminen suorassa suhteessa valokennojen lukumäärään nähden. Useita valoantureita käytettäessä ongelmana saattaa olla antureiden keskinäinen kalibrointi niin, etteivät vierekkäiset valopisteet syty eri ajankohtina.

Valaisinkohtaisella valoanturiratkaisulla ongelmaksi voi muodostua vaihtoehtoisen ohjausperusteen käytettävyyden anturin vikaantumistilanteessa. Mikäli anturi ei toimi eikä ohjausviestiä saada perille, olisi järjestelmässä oltava sekundäärinen ohjaustapa, kuten vuosikalenteriin perustuva hämärätaulukko. Tällainen varmistus johtaisi kuitenkin

lisälaitteisiin ja kaapelointeihin, eikä se tämän kaltaisessa järjestelmässä tuntuisi mielekkäältä vaihtoehdolta.

Valaisinkohtainen valokenno jää vikaantuessaan yleensä ”Päällä” asentoon, joten valokennojen viat aiheuttavat sähköenergian ylimääräistä kulutusta. Valokennojen vikaantumistiheys on kuitenkin alhainen, joten älykkäällä vikadiagnostiikkaa tekevällä järjestelmällä vioista johtuva ylimääräinen energiankulutus voidaan pitää hallinnassa [Pacific Gas & Electricity 2005].

4.6 GPRS-tiedonsiirtoon perustuvat releohjausjärjestelmät

Laajalle levinnyt GSM-verkko on saanut käyttäjäkseen eri yrittäjiä myös ulkovalaistuksen ohjaussektorilta. Järjestelmä on muiden langattomien järjestelmien tapaan helposti siirrettävä, eikä edellytä erillistä ohjauskaapelointia. Lisäksi markkinoilla on järjestelmiä, joissa energian mittaus ja kuormien ohjaus toteutetaan samalla laitteella, jolloin sähkötiloihin asennettavien laitteiden lukumäärää voidaan vähentää ja mittareiden etäluennasta ja kuormien kauko-ohjauksesta selvitään yhdellä GSM – liittymällä.

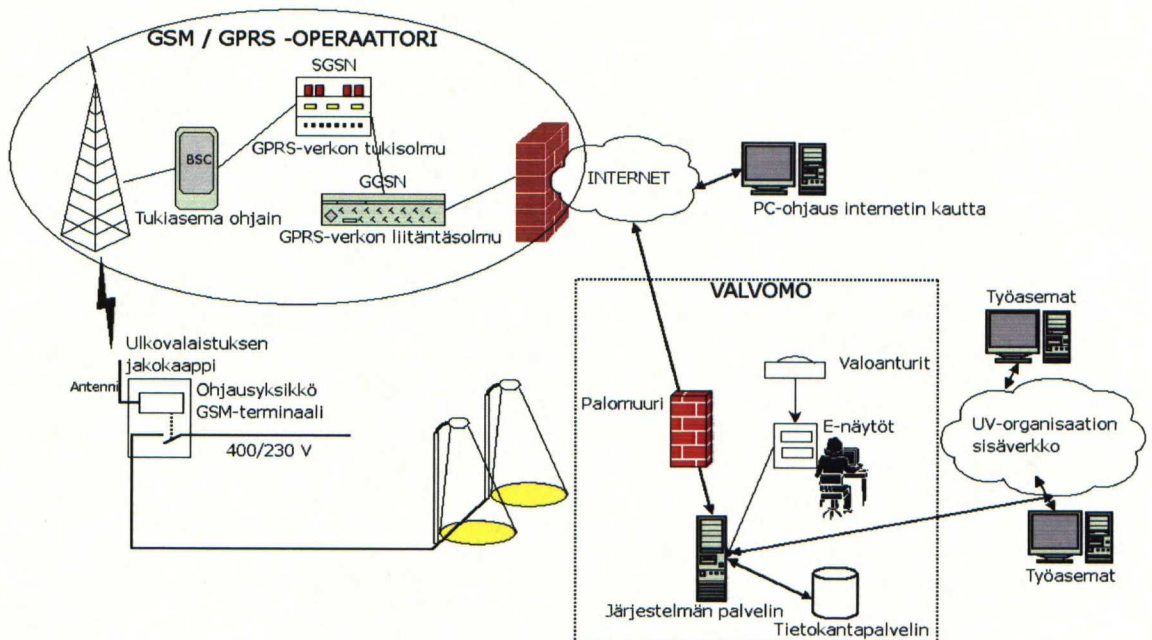
4.6.1 Järjestelmän osat ja toiminta

GPRS-tiedonsiirtoon perustuva ulkovalaistuksen ohjausjärjestelmä koostuu valokennosta, GSM-verkosta, vastaanottimesta ja ohjausyksiköstä. Lisäksi järjestelmiin on yleensä liitettävissä tietokantapalvelin, jossa toimiva ohjelmisto suorittaa ohjaukset, hälytykset ja raportoinnin. Keskitettyä ohjausta suorittavasta valokennosta analoginen valaistusvoimakkuutta kuvaava jännitearvo tai kosketintieto johdetaan keskuslaitteena toimivalle palvelimelle, joka tekee ohjelmoidut ohjaustoiminnot ja välittää komennot GSM-verkon kautta jakokaapeissa oleville ohjausmoduuleille. Valoanturi voi olla kytkettynä myös suoraan ulkovalaistuksen jakokaapeissa oleviin ohjausyksiköihin.

Järjestelmien kokoonpanot ja laitteiden keskinäinen kommunikointi vaihtelee valmistajittain. Yhteistä GPRS-pakettitiedonsiirtoon perustuville järjestelmille on se että yhteyttä keskuslaitteiston ja hierarkian alapäässä olevien ohjausmoduuleiden välillä pidetään auki koko ajan. Tiedonsiirto tällaisissa järjestelmissä on yleensä kaksisuuntaista. Paluutietona ohjausmoduuleilta saadaan kosketintietoja ja esim. hälytystietoja palvelimelle. Palvelin voi käyttää niitä esimerkiksi historiatiedon keräämiseen, ristiriitahälytysten nostamiseen kosketintiedon ja valoanturin tiedon perusteella ym. Ohjausmoduuleihin voi olla mahdollista ohjelmoida erilaisia varmistusjärjestelyitä, kuten hämärätaulukkoita, siltä varata että tiedonsiirtoyhteydet jakokaapille saakka eivät toimisi.

Järjestelmän palvelinta voi ylläpitää joko ulkovalaistusorganisaatio, tämän IT-palveluiden toimittaja tai ulkopuolinen hosting-palveluntarjoaja. Hosting-palvelua käytettäessä järjestelmän palvelimen, matkapuhelinverkon, ohjausyksiköiden ja asiakasohjelmistojen väliset yhteydet ovat pitkälle palveluntarjoajan määrittelemiä ja niiden toimintavarmuus tämän mukainen. Ongelmat palvelun tasosta tingittäessä voivat johtaa käyttökatkoihin tai varajärjestelmien käyttöön siirtymisiin. Palveluntarjoajan määrittelemä vasteaika vikatilanteissa sekä esimerkiksi varavaimalla ja UPS-järjestelyillä toteutetulla sähkönjakeluverkolla on vaikutuksia palvelun hintaan. Hyötynä varmistetun sähkönjakelun käytöstä ja ylläpidon nopeasta vasteajasta on palvelun tavoitettavuuden ja luotettavuuden tason nousu.

Usein palvelimilla toimivat ohjelmistot ovat suljettuja, joten järjestelmän toimittaja huolehtii ohjelmistojen toimivuudesta ja keskinäisestä yhteensovittamisesta, eikä ohjelmien lähdekoodi tai välttämättä edes rajapintakuvaus ole saatavilla.



Kuva 4.5. GPRS-tiedonsiirtoon perustuva valaistuksen ohjausjärjestelmä.

4.6.2 Vikaskenaariot

Järjestelmän ohjaustapahtuma on riippuvainen GPRS-yhteyden toiminnasta. GSM-verkon ollessa julkinen viestintäverkko, voi verkko ruuhkautua esimerkiksi suurten yleisötapahtumien aikana, eikä ohjauksikomentoja saada verkossa perille. Lisäksi palvelin on yleensä vielä yhteydessä internetiin ja internetin kautta matkapuhelinoperaattorin GPRS-yhdyskäytävään. Internetin palvelunlaatukonsepti on best-effort-tyylinen, eli tiettyä kaistanleveyttä tai pakettien kulkuaikaa ei taata, joten tiedon perille meno ei ole varmaa, ellei toteutetussa järjestelmässä ole sisäänrakennettua kuittausmenettelyä [Huston 1999].

Järjestelmän sydän on palvelin ja sen käyttöjärjestelmä ja ohjelmistot. Tietoteknisten järjestelmien laatuun on syytä kiinnittää huomiota, sillä nykyisin jopa jotkut käyttöjärjestelmät ovat niin epävakaita, ettei ympäri vuoden 24 tuntia vuorokaudessa toimivia palveluita voi täysin toimintavarmasti niihin asentaa. Lisäksi varsinaisten palvelinohjelmistojen ja siihen kytkettyjen tietokantojen ja sovelluspalvelinten toiminnan on oltava varmaa ja huolellisesti testattua. Jos palvelin tai joku sen kriittinen osa, kuten sovelluspalvelin tai käyttöjärjestelmä ei toimi, jää koko järjestelmän toiminta puutteelliseksi tai jopa lamaantuu täysin.

Jakokaappeihin on kiinnitettävä ulkopuolinen GSM-antenni, joka mahdollistaa signaalin pääsyn metallisen kaapin sisään. Antenni on kaapin ulkopuolella altis ilkeivallalle, joten tiedonsiirto ilkeivallalle alttiilla alueella sijaitsevalle jakokaapille saattaa olla vaarassa. Toisaalta jos jakokaappi on esim. jotain komposiittimateriaalia tai muuta sähköä johtamatonta materiaalia, voidaan antenni sijoittaa kaapin sisäpuolelle. Jakokaapin ulkopuolelle sijoitettavien antennirakenteiden on syytä olla huomiota herättämättömiä ja mielellään väriltään jakokaapin väriä jäljitteleviä, sekä muodoltaan mahdollisimman vaikeasti tartuttavia ilkeivallan ehkäisemiseksi.



Kuva 4.6. UV-jakokaapin kylkeen asennettu GSM-antenni.

Jos kolmas osapuoli saa selville ohjausmoduulin tai sen tiedonsiirtotermiinalin GSM-numeron voi tämän toimintaa häiritä soittamalla tähän numeroon. Soittaminen

numeroon voi toteutustavasta riippuen vastata tietoverkkopuolella tapahtuvaa palvelunestohyökkäystä, jolloin hyökkäyksen kohteena toimiva laite lamaannutetaan tai tehdään väliaikaisesti toimintakyvyttömäksi.

4.6.3 Edut ja haitat

GSM-verkon hyödyntäminen madaltaa tiedonsiirtopisteen käyttöönoton kynnystä, sillä erillistä järjestelmän toiminnan mahdollistavaa tiedonsiirtoverkkoa ei tarvitse ulkovalaistuksen ohjausta varten rakentaa ja säästetään järjestelmän kokonaisrakennuskustannuksissa.

GSM-verkko on kuitenkin julkinen verkko, jossa ollaan tekemisissä ulkopuolisen organisaation kanssa, joten verkon konfigurointi tai kapasiteetin varaaminen ei onnistu omin neuvoin. Tällaisten erikoistarpeiden tyydyttäminen edellyttää yleensä operaattorin palvelun ostamista, eikä tarvittavan palvelun laatua silti ole välttämättä saatavilla, vaan verkon ylikuormitustilanteet voivat haitata toimintaa.

GPRS-tekniikkaan perustuvat järjestelmät ovat kuitenkin yleisiä ja peruselektroniikan suurten volyymien vuoksi verrattain edullisia.

4.6.4 Case Amplex

Järjestelmän kuvaus

Amplex-järjestelmä on Tanskalainen ulkovalaistuksen ohjaukseen tarkoitettu järjestelmä, joka koostuu jakokaappikohtaisesta AmpIO –ohjausmodulista sekä Amplio-palvelimesta, joka suorittaa ohjauskomentojen jakelun keskitetysti sekä pitää yllä tietokantaa tehdyistä toiminnoista ja aikaohjelmista. Amplex-järjestelmän tiedonsiirto tapahtuu operaattorin GPRS-internet-yhdyskäytävän kautta ohjausyksiköltä palvelimelle tai toisinpäin.

AmpIO-laitteen saadessa käyttäjännitteensä yhteyden muodostus tapahtuu siten, että ohjausmoduliin integroitu GPRS-terminaali ottaa yhteyden matkapuhelinverkkoon ja avaa ohjelmallisesti tietoliikenneyhteyden palvelimelle, joka pidetään aina auki. Jokainen päätelaite on oma itsenäinen yksikkönsä, jolla on oma operaattorin SIM-kortti.

Kullakin päätelaitteella on varmistuksena sen muistiin ohjelmoitu hämärätaulukko, jonka perusteella ohjaukset tehdään, mikäli GPRS-yhteyden kautta normaalia valoanturin mittaukseen perustuvaa ohjauskäskyä ei tietyn aikavälin aikana kuulu. Hämrätaulukko voidaan tarvittaessa tehdä muutoksia GPRS-yhteyden kautta. Järjestelmällä voi tehdä myös keskitetysti tapahtuvaa erillisohjausta, esim. kausivalaistusryhmien ohjausta kellonaikojen perusteella tai liikunta-alueiden valaistusta halutulla aikajaksolla. Käyttö- ja ylläpitohenkilöstön matkapuhelimilla on

tekstiviestein mahdollista ohjata AmplO-moduleita joko yksittäin tai hierarkisesti ryhmissä esim. kaupunginosittain.

Järjestelmällä on mahdollisuus valaistuksen säätöön esim. 2-teho kuristimilla, mutta sitä ei pilottiprojektissa otettu käyttöön.

Amplex-järjestelmään on mahdollista kytkeä jakokaappikohtainen mittaus, jolla voidaan tietokantaan kerätä kulutustietoja valaistuksen kuluttamasta sähköenergiasta. Järjestelmään voidaan myös ilmoittaa lamppujen kausivaihdon ajankohta, josta alkaen järjestelmä laskee polttotunteja seuraavan kausivaihdon ajoittamista varten.

Järjestelmässä on ominaisuus, joka mahdollistaa hälytysten lähettämisen ylläpitohenkilöstölle, esim. tietoliikenneyhteyden kadotessa yms.

Amplex-järjestelmän palvelin on mahdollista ylläpitää itse tai pitää palvelu järjestelmän Tanskalaisella toimittajalla tämän laitetiloissa. Järjestelmän valintaa harkittaessa kannattaa tämä seikka miettiä tarkoin ja tutkia edut, haitat ja riskit molemmille vaihtoehdoille. Palvelimen ollessa ulkomailla tiedonsiirron vikamahdollisuudet kasvavat samalla kun jokaista päätelaitteen ja palvelimen välillä tapahtuvaan tiedonsiirtoon käytettävää pakettia kuljettaa useampi osapuoli. Toisaalta ostopalveluna ei järjestelmän päivityksistä ja ylläpidosta tarvitse huolehtia. Tämä saattaa olla hyvä ratkaisu, jos osaamista tai resursseja ei ko. toimintaan ole [Amplex 2002].

4.7 Sähköverkkotiedonsiirtoon perustuvat järjestelmät

Ulkovalaistuksen ohjausjärjestelmiä, joissa valaistuksen ohjaussignaalointi tapahtuu järjestelmähierarkian yläpäässä sähköverkkoon perustuvalla tiedonsiirrolla, on vain muutamia, esim. Enermetin AIM ja Melko. Sen sijaan järjestelmiä, joissa jakokaapilta valaisimelle tapahtuva tiedonsiirto on pienjänniteverkossa tapahtuvaa PLC-tiedonsiirtoa, on useampia. Vaikka VKO-ohjaus onkin sähköverkkotiedonsiirtoa, sen tiedonsiirtomäärä on niin pientä, että se käsitellään tässä työssä omana järjestelmänään. Sähköverkkotiedonsiirron käyttämä taajuusalue on korkeammalla kuin verkkokäskyohjausjärjestelmissä käytetyt taajuudet. Esim. Enermetin järjestelmien taajuusalue on tavallisesti välillä 3025-4825 Hz [Tukiainen 2000].

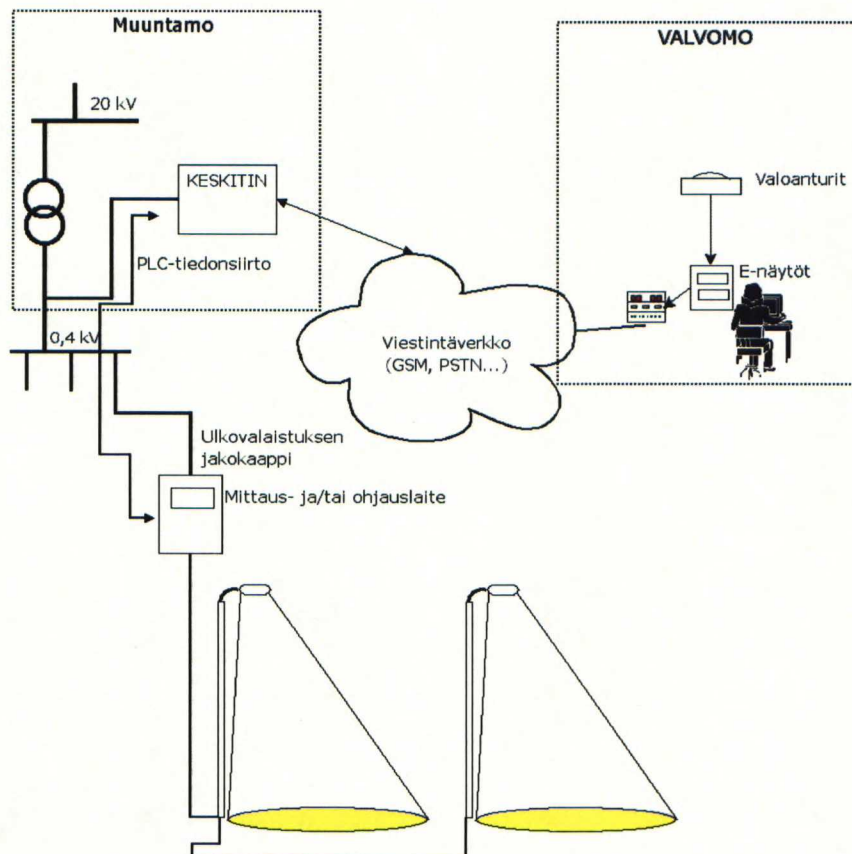
4.7.1 Järjestelmän osat ja toiminta

Järjestelmän ydin on keskustietokone, joka on vastuussa ohjaussignaalien lähettämisestä sekä paluutiedon tallentamisesta ja oikeasta käsittelystä. Yhteys keskustietokoneelta ala-asemille voi tapahtua esim. kiinteää verkkoa pitkin tai langattomia yhteyksiä, kuten GSM tai TETRA (TErrestrial TRunked rAdio), pitkin. Muuntamoiden yhteydessä olevilta ala-asemilta päätelaitteina toimiville ohjausyksiköille

tai mittalaitteille tapahtuvan tiedonsiirron siirtotienä toimii pienjänniteverkko. Sen sijaan ylöspäin tapahtuvan tiedonsiirron siirtotienä toimii yleensä GSM tai jokin muu puheviestintään tarkoitettu tiedonsiirtoverkko.

Alaspäin keskuslaitteilta päätelaitteille tapahtuvan tiedonsiirron, kuten ohjaussignaalien ym. tiedonsiirtonopeus ei ole kuin joitain kymmeniä baudeja ja tiedonsiirtokaista on Suomessa toteutetuissa järjestelmissä tyypillisesti 3-5 kHz alueella.

Järjestelmässä tiedonsiirtoa keskustietokoneen kanssa voi tehdä myös keskitin, joka toimii toiminta-alueensa väliaikaisena tietovarastona ja toimittaa mittaustiedot keskustietokoneelle.



Kuva 4.7. Kaksisuuntaisen sähköverkkotiedonsiirtojärjestelmän rakenne.

4.7.2 Vikaskenaariot

Järjestelmän kriittisin komponentti on keskustietokone, jolta ohjauskomennot tulevat ja joka ottaa mittaustiedot vastaan. Mikäli keskitettyä ohjaustietoa ei saada, tarvitaan jakokaappikohtainen varmennus esim. hämärätaulukkoon perustuen. Jos keskitin suorittaa mittaustietojen toimittamisen keskustietokoneelle tai tietokantapalvelimelle ja se vikaantuu, menetetään kerätty mittaustiedot, ellei tiedonvarmistuksesta ole huolehdittu. Yleensä mittaustiedot voidaan kerätä myöhemmin uudelleen, sillä

kulutustieto on kumulatiivinen ja laskutus tapahtuu mitatun kulutuksen ja edellisen laskun kulutustiedon erotuksen mukaan.

Yksittäisen ala-aseman tai näiden tiedonsiirtoyhteyksien vikaantuminen voi aiheuttaa ongelmia ko. toiminta-alueella. Tilanne vastaa verkkokäskeyhjäystoteutuksessa VKO-lähettimen vikaantumista, jolloin koko sen toiminta-alue pimenee. Tässäkin tapauksessa varmistamaton tilanne johtaa nopeasti havaittavaan ja laajaan vikaan. Ohjausyksikön vikaantuminen johtaa pienempään, mutta kuitenkin koko jakokaapin laajuiseen vikaan.

4.7.3 Edut ja haitat

Sähköverkkotiedonsiirtoon perustuvien ohjaus- ja mittausjärjestelmien suurin etu on siinä, ettei niiden käyttämisen edellytyksenä ole uuden tiedonsiirtoinfrastruktuurin rakentamista. Järjestelmän siirtotienä ala-aseman ja keskustietokoneen välillä pitää kuitenkin olla erillinen järjestelmä, esim. GSM-verkossa toimiva GPRS tai jokin muu langaton järjestelmä. Useat rinnakkaiset järjestelmät lisäävät järjestelmään kuitenkin monimutkaisuutta, ja hyvästä perusjärjestelmästä voi tulla hankala ja työläs ylläpidettävä.

Päätelaitteiden kaiken tietoliikenteen tapahtuessa olemassa olevissa pienjännitekaapeleissa, jää rakentamiskustannuksista merkittävä osa pois. Tämä voi olla hyvinkin merkittävässä roolissa järjestelmän hankintaa suunniteltaessa. Hyötyjä saadaan myös, jos suuria asiakasmassoja hallitseva sähköverkkoliiketoiminta ja ulkovalaistusliiketoiminta pystyvät hyödyntämään samaa järjestelmää omien tarpeittensa täyttämiseen.

4.8 Tekstiviestipohjaiset ohjausjärjestelmät

4.8.1 Järjestelmän osat ja toiminta

Eräs yksinkertainen tapa ohjata kuormia langattomasti on tehdä ohjaukset tekstiviestillä suoraan GSM-terminaaliin, joka tulkitsee vastaanotetun viestin sisällöstä, minkä operaation se suorittaa. SMS- (Short Message Service) eli tekstiviestin vastaanotettuaan laite tekee kytkennän halutusti ja tarvittaessa hälyttää esim. kosketintiedon perusteella tekstiviestillä ja / tai puhelulla ennalta määriteltyihin numeroihin. Järjestelmä edellyttää siis kullekin ohjauspisteelle lähetettyä tekstiviestiä, joten lukumääräisesti suuri ohjausviestien lähetys kestää pitkään. Periaatteena ryhmätekstiviestipalvelu voisi ratkaista tämän ongelma. Suurien ryhmien hallinta on kuitenkin hankalaa, eikä palveluja ole tarkoitettu näin suurille järjestelmille, joten käyttökokemuksia todellisessa käyttöympäristössä ei ole. Usein tämän kaltaiset

ohjausjärjestelmät ovat muuhun tarkoitukseen suunniteltuja, kuten hälytyssovelluksiin ym. Eräs tällainen järjestelmä on Klinkmannin markkinoima GTBox.

4.8.2 Vikaskenaariot

Tekstiviestikeskusten ruuhkautuminen tai vikatilanteet estävät järjestelmän toiminnan tai ne voivat ainakin aiheuttaa järjestelmän tehokkaalle käytölle turhaa viivettä. Järjestelmä itsessään on yksinkertainen, eikä tämänkaltaisissa sovelluksissa yleensä ole tietokoneella hallittavaa valvomo-ohjelmistoa, vaan ohjelmat on tehtävä tai teetettävä erikseen. Vikatietojen saaminen ei ole varmaa ja esim. tukiaseman tai tekstiviestikeskuksen vikaantuminen voi aiheuttaa tilanteita, jossa ohjauksen todellista tilaa ei tiedetä.

Jos järjestelmään asetettu turvakoodi, joka estää luvattomien ohjausten tekemisen, vuotaa organisaation ulkopuolelle, on kenellä tahansa mahdollisuus suorittaa ohjauksia matkapuhelimellaan, sillä järjestelmissä ei tavallisesti ole muistia tai logiikkaa, joka ylläpitäisi sallittujen puhelinnumeroiden listaa. Syynä on GSM-terminaalien suuri lukumäärä ja mahdollisesti muuttuvat ylläpitohenkilöstön puhelinnumerot. Jos yksi puhelinnumero lisätään sallittujen listaan 1700 terminaaliin, on muutoksen edellyttämä työ hyvin suuri.

4.8.3 Edut ja haitat

Järjestelmä on yksinkertainen ja sen vuoksi myös verrattain edullinen. GSM-terminaalin lisäksi ei tarvita muuta kuin ohjausreleet ja virtalähde laitteille. Yksinkertaisuus aiheuttaa myös sen, että järjestelmällä on rajoitettu I/O -liitäntöjen määrä. Tyypillisesti yhteen ohjauslaitteeseen voidaan liittää 3 digitaalista sisääntuloa ja 3 digitaalista ulosmenoa sekä analoginen sisääntulo esimerkiksi mittauksia varten.

Järjestelmän hallinta on raskasta, eikä tuhannen ohjauslaitteen massan läpikäynti esim. tilatietojen kyselyä tai ohjauskomennon siirtoa varten ole erityisen käytännöllistä tekstiviesteillä. Toisaalta suora yhteys päätelaitteeseen poistaa mahdollisuuden siihen, että lähetettyjä tietoja hukkuu keskuspalvelimen ja päätelaitteen välillä.

Tekstiviestit tallennetaan välitystä varten GSM-operaattorin järjestelmiin, mikäli vastaanottajaa ei tavoiteta. Näin viestit menevät yleensä lopulta perille, jos niiden välitys on epäonnistunut syystä tai toisesta.

4.9 Puhelinverkkotiedonsiirtoon perustuvat järjestelmät

4.9.1 Järjestelmän osat ja toiminta

Puhelinverkkoa tai siinä toimivia laajakaistaisia tiedonsiirtotapoja käyttäviä kaupallisia järjestelmiä on yleisesti saatavilla. Yleisesti nämä järjestelmät ovat topologiaaltaan ja ominaisuuksiltaan hyvin samankaltaisia GPRS- tai GSM-tiedonsiirtoon perustuvien järjestelmien kanssa sillä erotuksella, että tiedonsiirtotie on langallinen. Monet näistä järjestelmistä ovat samalla myös ulkovalaistuksen säätöjärjestelmiä, joten näitä käsitellään lisää luvussa 5.

Ulkovalaistuksen jakokaapin liittäminen yleiseen puhelinverkkoon aiheuttaa kaivuu- ja kaapelointikustannuksia. Tavallisesti liittymäpisteenä on puhelinlaitoksen lähin toisiojakamo tai muu kytkentäpiste, jolloin kaapelointi UV-keskukselta jakamolle pitää tehdä itse, eikä esim. puhelinyhtiön toimesta kuten normaalisti tehtäisiin tontin rajalle saakka.

4.9.2 Vikaskenaariot

Tiedonsiirtoverkkolähtöisiä vikoja on piirikytkentäisissä tai kiinteissä yhteyksissä langattomia yhteyksiä vähemmän. Tämä ei johdu tekniikan luotettavuusongelmista, vaan komponenttien vikaantumistiheyden kertautumisesta. Puhelinverkkotiedonsiirrossa kytkentöjä tehdään vähemmän, toisaalta kapasiteettia varataan turhaankin, mutta vikaantumistiheys on kohtuullinen: yhdelle yhteysvälille vain noin viisi minuuttia vuositasolla [Grönman 2002]. Ohjauskomponenttien osalta vikatilanteet osuvat GPRS- ja GSM-tekniikoiden lailla lähinnä releiden ja kontaktorien sekä näiden jakokaappikohtaisen ohjausyksikön vikaantumiseen. Näissä tilanteissa vian laajuus on joko ulkovalaistusryhmän tai jakokaapin laajuinen. Järjestelmästä ja vian laadusta riippuen tieto ongelmista valaistuksen ohjauksessa saadaan huoltohenkilöstölle järjestelmän kautta tai pahimmassa tapauksessa tietoa ei saada lainkaan.

4.9.3 Edut ja haitat

Puhelinverkko on varma tiedonsiirtomedia, sillä siirtotie ei ole helposti ulkopuolisten tavoitettavissa. Salakuuntelun tai ylimääräisen datan syöttäminen puhelinyhteydelle edellyttää tavallisesti pääsyn ainakin jakamoon, joten yhteyden turvallisuus on hyvä. Puhelinverkossa voidaan käyttää erilaisia tiedonsiirtotapoja ja erilaisista tekniikoista voidaan valita sovellukseen parhaiten sopiva.

4.10 Ohjelmoitavat logiikat

Ohjelmoitavat logiikat ovat ohjauslaitteita, jotka tekevät ohjaus- tai säätötoimenpiteitä, sisääntulojensa tilatietojen yhdistelmien sekä yhden tai useamman kellon perusteella. Ohjelmoitavien logiikoiden käyttö ulkovalaistuksen ohjauksessa ei ole kovin yleistä, vaikkakin olemassa olevat järjestelmät sisältävät samoja toimintoja kuin geneeriset ohjelmoitavat logiikat. Ohjelmoitavissa logiikkamoduleissa on I/O-pisteitä, joihin voi tarpeen mukaan määritellä halutut toiminnot, kuten valaistusryhmien kontaktorien ohjaus, tilatietojen sisäänotto ym. Yleensä logiikkamoduleissa on mahdollisuus joko milliampeeri tai jännitetasoiseen analogiseen sisääntuloon esim. mittauksia varten. Koska normaali ohjelmoitava logiikkayksikkö on edullinen, se on kiehtova ratkaisu valaistuksen ohjaustarpeisiin. Toisaalta logiikkayksiköissä ei yleensä ole kovin monipuolisia tiedonsiirtoväyliitäntöjä, vaan yhteydet rajoittuvat tavallisesti sarjaväylään eli RS232-liitäntään ja valmistajasta riippuen erilaisiin kenttäväyläratkaisuihin.

4.10.1 Järjestelmän osat ja toiminta

Logiikkapohjaisen ulkovalaistusohjausjärjestelmän ydintoiminta on jakokaappeihin sijoitetuissa logiikkamoduleissa. Valmistajasta riippuen logiikkaan voi ohjelmoida tietyn määrän komentoja, jotka suorittavat ohjauksia sisääntulojen tilatietojen perusteella. Jakokaapista järjestelmähierarkiassa ylöspäin siirryttäessä tarvitaan käytettävään moduliin tiedonsiirto-osa tai käytetään kolmannen osapuolen tekemää laitetta, esim. GSM-termiinaalia. Valvomopäässä valokennon ohjaamana vastaava logiikka antaa komennon sytyttää tai sammuttaa valaistus, kun ennalta määritellyt ulkovalaistuksen raja-arvot ylittyvät. Valvomoon voidaan myös tehdä tai teettää tietokoneympäristössä toimiva ohjelmisto, joka kerää järjestelmästä haluttuja tietoja tai ylläpitää valokennon ulkopuolisia ohjausohjelmia.

4.10.2 Vikaskenaariot

Eri komponenteista koottu järjestelmä voi olla vikaherkempi, sillä osakomponenttien yhteensovittaminen on lähinnä järjestelmän integraattorin tiedon ja taidon varassa. Jos tämä integraattori ei ole enää käytettävissä, syvälinen tietämys järjestelmästä kokonaisuudessaan katoaa, ja reagoiminen vikoihin voi kestää pitkään. Dokumentointi on geneerisistä komponenteista kootun järjestelmän yhteydessä erityisen tärkeässä roolissa, sillä vain kunnollisella dokumentoinnilla voidaan järjestelmän syvällisempi toiminta selvittää, mikäli alkuperäisiä asiantuntijoita ei ole käytettävissä.

Kuten muihinkin järjestelmiin, myös ohjelmoitavilla logiikoilla toteutettuun järjestelmään liittyy tietoliikennereittien vikaantumisen riski. Tiedonsiirtotie voidaan kuitenkin

järjestelmävalintoja tehdessä itse määritellä, joten valintoja tehdessä saadaan myös suoraan vaikutettua tiedonsiirtotiestä mahdollisesti aiheutuvien vikojen yleisyyteen, vakavuuteen ja niistä palautumiseen.

4.10.3 Edut ja haitat

Ohjelmoitavia logiikoita järjestelmän ytimenä käytettäessä voidaan järjestelmän osakomponentit valita halutusti ja esimerkiksi vaikuttaa käytettävien osien valintakriteereihin kulloinkin tärkeiltä tuntuvien asioiden painotuksella valintoja tehdessä. Esimerkiksi voidaan valita jakokaappeihin vain komponentteja, joiden toimintalämpötila ylettyy -20 tai jopa -40°C asteeseen, ja näin vähentää tai kokonaan poistaa ylimääräisen lämmityselementin tarvetta jakokaapissa.

Rakentamalla järjestelmä erillisissä osissa, voidaan esimerkiksi käytettyä tiedonsiirtotapaa tarvittaessa vaihtaa. Esimerkiksi huonon vastaanoton alueella voidaan vaihtaa langaton tiedonsiirtoyhteys kiinteän puhelinverkon yhteydeksi tai muuttaa käytettävä langaton tekniikka toiseksi koko järjestelmässä. Koska järjestelmä on koottu avoimen rajapinnan tuotteista, on komponenttien vaihtaminen tai järjestelmän ominaisuuksien lisääminen vaivatonta.

Jos jokin osakomponenttien toimittajista lopettaa käytetyn tuotteen valmistamisen, ollaan tilanteessa, jossa korvaava tuote pitää löytää esim. komponentin vikaantumistilanteessa. Uuden komponentin nivouttaminen olemassa olevaan järjestelmään voi olla työlästä, ja joka tapauksessa tilanne johtaa laitekirjon kasvamiseen, joka edelleen aiheuttaa ylläpidolle ongelmia kasvavana laitekantana.

Valvomopään valmiin tietokoneohjelmiston puuttuminen edellyttää sellaisen laatimista tai tilaamista joltain ohjelmistotoimittajalta. Ongelmaksi voi tässä tapauksessa muodostua ohjelmiston muutostarpeet jatkossa ja esim. kuka voi tehdä muutokset ohjelmistoon esimerkiksi käyttöjärjestelmän päivityksen yhteydessä.

Yhteenvetona voidaan todeta, että ohjelmoitavilla logiikoilla saisi rakennettua hyvin räätälöidyn ja kattavan järjestelmän, mutta se vaatisi kohtalaisen raskaan ylläpito-organisaation.

4.11 Muut langattomat järjestelmät

Ulkovalaistuksen ohjauksessa on mahdollista käyttää GSM-verkon lisäksi muitakin langattomia järjestelmiä siirtotienä. Mahdollisia järjestelmiä on mm. TETRA ja Digital Radio Channel eli DARC sekä VHF- (Very High Frequency) tai UHF-alueella (Ultra High Frequency) tapahtuva tiedonsiirto. Periaatteeltaan nämäkin järjestelmät ovat GPRS- ja GSM-tiedonsiirron kaltaisia, eli järjestelmä koostuu keskustietokoneesta,

siirtotiestä sekä sen päätelaitteista ja ohjausmoduleista. Järjestelmän edut ja haitat sekä riskit poikkeavat muista järjestelmistä lähinnä siirtotien osalta. Lahden kaupungissa julkisen ulkovalaistuksen ohjaus tapahtuu järjestelmän valvomotasolta langattomasti ala-asemille, josta eteenpäin ohjaus on kuitenkin vyörytysmenetelmällä tapahtuva. Langattomat datayhteydet ovat vapaita taajuusalueita käyttäviä luvanvaraista radiotoimintaa, josta pitää suorittaa Viestintävirastolle päätelaitekohtainen maksu säännöllisesti.

Eri siirtotievaihtoehtoja ja näiden ominaisuuksia käydään läpi luvussa 7.

4.12 Muut langalliset järjestelmät

Suomessa esimerkiksi Tampereella, Rovaniemellä ja Forssassa ulkovalaistuksen ohjaus hierarkian valvomotasolta alaspäin on toteutettu erillisellä ohjauskaapeliverkolla. Ohjauskaapeli voi olla VMOHBU-tyyppistä puhelinkaapelia, MCMK- tai MCMO-tyyppistä ohjauskaapelia tai mitä tahansa muuta tarkoitukseen soveltuvaa kaapelia, jolla ohjausviesti saadaan toimitettua UV-keskuksille. Jännitehäviö tämän kaltaisessa verkossa voi aiheuttaa tarvetta toistimille riittävän signaalitason varmistamiseksi pidemmillä etäisyyksillä.

4.12.1 Järjestelmän osat ja toiminta

Valvomotasolta hierarkiassa alaspäin tuotava hämäräkytkinlähtöinen ohjaustieto kuljetetaan valvomosta 1. tason keskuksille, josta edelleen seuraavan tason keskuksille jne. Ohjaus siis eräällä tavalla vyörytetään keskukselta toiselle, kunnes koko ketju on käyty läpi. Toteutustapakohtaisesti järjestelmässä saattaa olla tarve signaalin vahvistamiselle, joten ohjausviesti toimitetaan haarassa alaspäin toistimen kautta, mikäli signaalin on vaara heiketä yhteysväliillä liikaa. Käytetty signaali voi toteutustavasta riippuen olla esim. Tampereen tavoin erillisen kaapelin kautta kuljetettava 60 VDC jännitepulssi sytytykseen ja sammutukseen, erillisen ohjausjohtimen jännite tai parikaapelissa kulkeva, valitulla tavalla moduloitu informaatio.

4.12.2 Vikaskenaariot

Koska järjestelmä on toimintaperiaatteeltaan tavallisesti eräänlainen vyörytysjärjestelmä, saattaa ohjausviestin kulkeminen pysähtyä laitevian takia jo hierarkian yläpäässä estäen alempien haarojen toiminnan. Toteutustavasta riippuen järjestelmä voi olla altis ulkopuoliselle häiriölle, jolloin esimerkiksi parikaapeliin moduloitu signaali saattaa vääristyä tai jopa muuttua niin, ettei sitä voida enää tulkita oikein.

4.12.2 Edut ja haitat

Järjestelmän suurin etu on siinä, että erillinen ohjauskaapelijärjestelmä on omassa hallinnassa ja ulkovalaistusta voidaan ohjata täysin muista tahoista riippumatta. Järjestelmä koostuu kuitenkin monista komponenteista ja näiden välisistä liitoksista, jolloin mahdollisuus vikaan lisääntyy. Järjestelmä on kallis rakentaa, sillä ulkovalaistuskeskusten välille on kaivettava kaapelit. Erityisen kallista tämä on silloin, jos olemassa olevaa järjestelmää muutetaan erilliseksi ohjauskaapeleilla ohjattavaksi järjestelmäksi, sillä silloin kaivuutöiden aiheuttamat kustannukset tulevat pelkästään ohjauskaapeloinnin kustannuksiksi. Uudisrakentamisessa samaan kaapeliojaan kaapeloidaan usein muitakin kaapeleita, jolloin ohjausjärjestelmän aiheuttamat kaivuukustannukset jakaantuvat myös muille, sillä kaivuutöitä tehdään alueella joka tapauksessa.

4.13 Kehitystilanne Suomessa ja ulkomailla

Suomen lisäksi myös Euroopassa ja muualla maailmassa ulkovalaistuksen kehittyneempiä ohjausjärjestelmiä on testattu ja otettu tuotantokäyttöön. Useimmat järjestelmät ovat saaneet kotimaastaan hyvin jalansijaa ja sen jälkeen levinneet muihin maihin. Suuri osa järjestelmistä on peräisin Italiasta, Ranskasta tai Tanskasta, joten näistä maista löytyy lukumääräisesti runsaasti kehittyneiden järjestelmien käyttäjiä.

Yleisesti ulkomailla on samankaltainen tilanne kuin Suomessa olemassa olevan ulkovalaistusverkon suhteen. Kaupungeilla on valaistusverkkonsa, eikä siihen tavallisesti tehdä laajoja muutoksia kerralla, mutta monilla ulkovalaistusverkon haltijoilla on paineita vanhojen ohjausjärjestelmien saneeraukseen. Ulkovalaistuksen ohjausjärjestelmien saneeraus eteneekin yleensä laitekannan ikääntyessä laaditun saneerausohjelman mukaisesti. Kehittyneitä valaisinkohtaisen ohjaus- tai säätömahdollisuuden tarjoavia järjestelmiä on asennettu kymmeniin kaupunkeihin eri puolilla Eurooppaa. Sen sijaan Helsingin kokoluokan kaupungin kattavia järjestelmiä ei nykytiedon mukaan ole asennettu maailmassa vielä ensimmäistäkään, mutta esimerkiksi Saudi-Arabian Medinaan on tilattu koko kaupungin – n. 36.000 valopistettä – kattava järjestelmä asennettavaksi vuoden 2007 loppuun mennessä. Norja on edelläkävijämaita kehittyneiden ulkovalaistuksen ohjausjärjestelmien kehityksessä ja ko. järjestelmiä käytetään mm. Oslossa. Myös Dubliniin, Kööpenhaminaan ja Stavangeriin on tulossa kehittyneempi valaistuksen ohjausjärjestelmä, joka on toteutettu yhdistetyllä aluekohtaiseen ohjaukseen sekä valopistekohtaiseen ohjaukseen ja säätöön kykenevällä järjestelmällä. Nykyisin Tanskan pääkaupungin Kööpenhaminan ohjaustoimenpiteen suorittaa elektroninen kellokytkin. Pienempiä, alle

3000 valopisteen kaupunkeja ja kuntia on varustettu kokonaisuudessaan kehittyneemmillä järjestelmillä esimerkiksi Italiassa.

Ryhmä- tai jakokaappikohtaisia kaksisuuntaisia ohjausjärjestelmiä on maailmalla runsaasti toteutettuna. Lähimmät Suomen rajojen ulkopuolella olevat laajat järjestelmät löytyvät Virossa, jossa Tarton kaupunki on varustettu yli sadalla GPRS-verkon kautta toimivalla ulkovalaistuksen ohjausyksiköillä, jotka huolehtivat julkisen ulkovalaistuksen päälle ja pois kytkennöistä.

Ruotsissa on Tanskan lailla otettu käyttöön energian mittausjärjestelmän yhteydessä toimivia katuvalaistuksen ohjausjärjestelmiä eri kaupungeissa. Suomessa vastaavia järjestelmiä on käytössä mm. Jyväskylässä ja Turussa. Yhdistettyjä energianmittaus- ja kuormien kauko-ohjausjärjestelmiä valmistaa Enermetin lisäksi mm. tanskalainen Kamstrup ja ranskalainen Actaris.

Useilla kaupungeilla Suomessa on menossa selvityksiä ulkovalaistuksen ohjausjärjestelmien uudistamistarpeita silmälläpitäen, eivätkä monet UV-organisaatiot ole varauksettoman tyytyväisiä olemassa olevaan järjestelmäänsä. Suomessa Tiehallinto on alan pioneerinä tutkinut eri ohjausjärjestelmiä ja tehnyt eri järjestelmällä toteutettuja kohteitakin esim. valtatiellä 1, Kehä III:lla sekä Satamatiellä Helsingin Vuosaarella. Tiehallinnon kohteissa on käytössä sekä pienjänniteverkkoa tiedonsiirtoon käyttäviä että radioaalloilla toimivia toteutuksia. Kunta-alalla Pieksämäki aloitti marraskuussa 2005 ensimmäiset testiasennukset valaisinkohtaisen ohjauksen järjestelmästä. Tarkoituksena Pieksämäellä on laajentaa järjestelmä koko kaupungin noin 4000 valopisteen kattavaksi.

Singaporessa paikallinen maaliikenneministeriö lakkautti verkkokäskyohjaustoiminnan ulkovalaistuksen ohjauksessa hallinta-alueellaan vuoden 2002 lopussa. Muutoin verkkokäskyohjaus on Singaporessa yleisesti käytössä edelleen. Suomessa pääkaupunkiseudulla Helsinki ja Vantaa ovat tutkimassa verkkokäskyohjausjärjestelmän tulevaisuutta laitekannan vanhentuessa ja verkon tarpeiden muuttuessa. Norjan pääkaupunki Oslo lakkautti verkkokäskyohjausjärjestelmänsä ja siirtyi osittain käyttämään saksalaisen Görlitzin kehittyneempää Skalar-järjestelmää vuonna 2003. Skalar on AMR-järjestelmä (Automatic Meter Reading), jossa on runsaasti ominaisuuksia ja hyvin joustavat tiedonsiirtovaihtoehdot. Oslolla on myös Philipsin Starsense-järjestelmää käytössä ja samaa järjestelmää käyttää myös Itävallan Salzburg osassa julkista ulkovalaistustaan. Starsense on Philipsin valaisinkohtainen ulkovalaistuksen säätöjärjestelmä, joka käyttää siirtotienä alakeskuksen ja valaisimien välillä PJ-verkkoa.

Australiassa New South Walesin alueella ulkovalaistuksen ohjauksessa käytetään Helsingin, Espoon ja Vantaan tapaan valoanturin ja verkkokäskyohjauksen yhdistelmää. Ohjaustapa on yleisesti käytössä Australiassa ja Uudessa-Seelannissa, mutta paikallisten asiantuntijoiden mukaan trendinä on myös ko. alueilla luopua vähitellen verkkokäskyohjauksesta [Andrews, Poulton 1999]. Intiassa Mumbaissa on tutkittu ulkovalaistuksen ohjauksen toteuttamisvaihtoehtoja. Verkkokäskyjärjestelmää ei Mumbaissa valittu investointien suuruuden takia, vaan ohjausmenetelmänä kaupungin 33.000 valopisteen verkossa on kellokytkin ja tämän ohjaustiedon vyörytys. Verkkokäskyohjaus on kuitenkin hyvin yleinen ohjaustapa Euroopassa.

Maailmalla valaisin- tai pylväskohtainen valokenno on myös yleinen tapa ohjata ulkovalaistusta. Esimerkiksi Oaklandin, St. Georgen ja West Sacramenton kaupungit Yhdysvalloissa määrittelevät katuvalostandardissaan tai -määräyksissään pylväskohtaisen valokennon kullekin pylväälle [City of Oakland n.d]. Valaisin- tai pylväskohtainen valokenno on yleisesti käytössä muuallakin Yhdysvalloissa, kuten esim. San Josessa. Sen sijaan mm. Chicagossa ja Kanadan Calgaryssa on tavallisesti käytössä jakokaappikohtainen valokenno, joka ohjaa keskitetysti kaikkia jakokaapin kautta syöttönsä saavia valaisimia. Iso-Britanniassa on perinteisesti käytetty valaisin- tai ryhmäkohtaista ohjaustapaa. Aiemmin ohjauslaitteena on ollut kellokytkimet, mutta nykyisin valaisinkohtaiset valokennot ovat syrjäyttäneet kellokytkimet.

Los Angeles tilasi vuonna 2004 kaupungin kattavan valaisinkohtaisen ohjausjärjestelmän, johon on liitetty langaton tiedonsiirto ohjausta ja muuta viestintää varten. Siirtyminen uuteen Telemicsin toimittamaan GE StreetSmarts-järjestelmään tullaan toteuttamaan vaiheittain [GE Consumer Products 2006]. Samaa järjestelmää on asennettu testikäyttöön myös eri kohteissa Arizonassa, Floridassa, Utahissa ja New Jerseyssä.

Saksassa ja Keski-Euroopassa verkkokäskyohjauksen lisäksi käytetään radioverkkokäskyohjausjärjestelmää. Monet ulkovalaistuksen ohjausjärjestelmät on verkkokäskyohjausjärjestelmän saaneerausten tullessa ajankohtaiseksi muutettu EFR:n radioverkkokäskyohjausjärjestelmään. Toiminnassa olevien radioVKO-vastaanottimien määrä on kymmenessä vuodessa kasvanut 150 kappaleesta yli 400 000 vastaanottimeen. Lukumäärä pitää sisällään myös tariffinohjaukseen ja kuormien ohjaukseen käytetyt vastaanottimet, mutta kuvaa hyvin järjestelmän saavuttamaa luottamusta saksalaisten verkkoyhtiöiden piirissä [Europäische Funk-Rundsteuerung 2005].

Erilaisten ohjausjärjestelmien toimittajia on jo pelkästään Euroopassa runsaasti. Useimmat niistä ovat kuitenkin pieniä tai pienehköjä, eikä näiden valmistajien tuotteilla

ole toteutettu kuin yksittäisiä tieosuuksia tai muita rajattuja kohteita. Järjestelmätoimittajien runsaan lukumäärän mukaisesti myös pieniä testiympäristöjä on runsaasti eripuolilla Eurooppaa.

4.14 Yhteenveto

Ulkovalaistuksen ohjausjärjestelmien erilaisia toteutustapoja on käytössä useita sekä Suomessa että ulkomailla. Ulkovalaistusverkon topologia, verkon laajuus sekä ohjauspisteiden lukumäärä vaikuttavat järjestelmien sopivuuteen kussakin käyttökohteessa. Lisäksi järjestelmien saatavuus alueittain vaikuttaa järjestelmän soveltuvuuteen. Taulukossa 4.1 on arvioitu edellä esitettyjen sopivuutta Helsingin ulkovalaistuksen ohjausjärjestelmäksi. Järjestelmien soveltuvuutta arvioitaessa on huomioitu nykyisen verkon rakenne, järjestelmien rakennuskustannukset sekä tulevaisuuden näkymät.

Taulukko 4.1. Järjestelmien soveltuvuus Helsingin ulkovalaistusverkkoon.

	Siirtotie	Soveltuvuus
Verkkokäskyohjaus	PJ-verkko	***
Radioverkkokäskyohjaus	Radio	-
Vyörytysohjaus	PJ-verkko /erillinen	*
Valaisinkohtainen valokenno	Radio / N/A	*
Ryhmäkohtainen valokenno	Vapaa	**
GPRS-tiedonsiirtoon perustuvat	Radio	***
Sähköverkkotiedonsiirtoon perustuva	PJ-verkko	*
Tekstiviestipohjaiset järjestelmät	Radio	*
Puhelinverkkotiedonsiirtoon perustuv	Puhelinverkko	*
Ohjelmoitavat logiikat	Vapaa	***
Muut langattomat järjestelmät	Radio	***
Muut langalliset järjestelmät	useita	*
*** Hyvin sopiva, ** Sopiva, * Ei sopiva, -Ei saatavissa		

5. SÄÄTÖJÄRJESTELMÄT JA -MENETELMÄT

Tässä luvussa käsitellään ulkovalaistuksen säätöjärjestelmiä jaoteltuna säädettävän yksikön koon ja säätöperiaatteen mukaan. Luvussa otetaan myös kantaa säätöjärjestelmän investoinnin kannattavuuteen yleisellä tasolla.

5.1 Valaisinkohtaiset säätöjärjestelmät

5.1.1 Järjestelmän osat ja toiminta

Nykyaikaisissa valaistuksen säätöjärjestelmissä on valaistusolosuhteiden muuttaminen mahdollista tehdä valopistetasolla parhaan mahdollisen tuloksen aikaan saamiseksi. Järjestelmä koostuu hierarkiassa yläpään valvomotietokoneesta sekä puumaisesti siitä haarautuvasta ohjausyksiköiden ja valaisinkohtaisten vastaanottimien verkosta. Tiedonsiirto valvomon ja ohjausyksiköiden välillä voi tapahtua langattomasti esim. GPRS-yhteyden kautta tai puhelinverkkoa pitkin. Suuri osa järjestelmistä toteuttaa ohjausyksiköiden ja –vastaanottimien välisen tietoliikenteen jollain PLC-tekniikalla tai radioteitse. Valaistusverkko on jaettava sopivan kokoiisiin segmentteihin sen mukaan, mikä on käytettävä säätöperuste. Samalla järjestelmän säätöprosessin kannalta olennaiset valoanturit tai muita olosuhdesuureita tarkkailevat anturit liitetään ko. säätöalueen ohjausyksikköön [Edelcom 2005] [Luxmate 2002].

Valaisinkohtaisen ohjaus- tai säätölaitteen sisältävät järjestelmät ovat lähes aina kaksi- tai useampiportaiseen säätöön soveltuvia järjestelmiä. Näillä järjestelmillä voidaan huoltotarve vaikeissa paikoissa ennustaa, sillä monet järjestelmät tekevät diagnostiikkaa lampun kunnosta säädön yhteydessä. Näin esimerkiksi moottoritiellä voidaan ajoittaa muutoin kalliit lampunvaihdot hiljaisen liikenteen aikaan tapahtuviksi ja liikenteen ohjaus työaikana voidaan suunnitella kunnolla. Järjestelmät voivat tehdä johtopäätöksiä valonlähteiden tilasta mittaustulostensa perusteella tai kuten Idmanin edustama Edelcomin Luxicom-järjestelmä, jossa järjestelmä hakee jokaiselle valopisteelle säätöportaan, jolla tarvittava valovirta saadaan tuotettua. Kun halutun valovirran aikaansaamiseksi joudutaan käyttämään ylempää säätöporrasta voidaan tehdä johtopäätös lampun toiminnallisen eliniän heikentymisestä.

Valaisinten valonsäätö tehdään järjestelmän ominaisuuksien mukaan yleensä suurpainenatriumlampuilla välillä 20-100% tai 40-100% maksimi valovirrasta. Yleensä säätöportaita on muutamasta jopa kymmeneen, mutta elektronisia liitäntälaitteita käytettäessä voidaan puhua jopa portaattomasta säädöstä. Elektronisella liitäntälaitteella myös säätöalue on perinteisiä liitäntälaitteita laajempi, mutta niiden käyttö edellyttää tavallisesti myös valaisinten uusimista. Säätö tehdään

keskusjärjestelmän kautta hitaasti, jotta vältetään lampun tahattomalta sammumiselta säätökäytössä.

5.1.2 Edut ja haitat

Järjestelmänä valaisinkohtaisesti säädettävä valaistusratkaisu mahdollistaa täsmällisesti oikeiden valoteknisten olosuhteiden saavuttamisen. Valaisinkohtainen säätö tuo valaistuksen ylläpitäjille käytettäväksi myös paljon lisätietoa valaisimen ja lampun käyttöiästä, ympäristöolosuhteista ja toiminnasta. Näiden tietojen perusteella voidaan vikojen paikallistaminen ja ylläpitotoimien ajoitus tehdä järjestelmän työkaluilla.

Järjestelmässä jokaiselle valaisimelle tulee vastaanotin, joka purkaa ohjaus- ja säätökomennot niiden mukaista toimintaa varten. Käytännössä tämä tarkoittaa huollolle ja kunnossapidolle yhtä lisäkomponenttia valaisinpylvästä kohti.

5.1.3 Taloudelliset hyödyt

Valopistekohtaisella säädöllä voidaan optimoida energiankulutusta sekä ilta- että aamuhämärän aikaan. Myös pimeään aikaan voidaan säätökäytöllä saavuttaa energiansäästöä, tuottamalla ajoradalle liikennemäärän mukaisesti vain riittävä määrä keinovaloa. Luonnonvaloa voidaan käyttää osana tien tai kadun valaistusta ja tuottaa luminanssimittauksella saadun tiedon perusteella tarvittava määrä keinovaloa liikennemäärän edellyttämän kokonaisvalaistustason luomiseksi. Näin aamuisin ja iltaisin voidaan valaistusta käyttää mitoitus-tehoa pienemmällä teholla valaistusolosuhteiden pysyessä silti halutunlaisina. Järjestelmällä saadaan muodostettua sopivat valaistusolosuhteet kaduille ja samalla säästetään energiakustannuksissa. Jos valaisinkohtaiselle säätölaitteelle lasketaan takaisinmaksuaika, ei esim. tonttikaduilla tai jalankulkureiteillä tyypillisesti käytetyn 70W suurpainenatriumlampun himmentämisellä saavuteta merkittäviä säästöjä ja järjestelmän takaisinmaksuajasta voi muodostua tarpeettoman pitkä.

Jos oletetaan, että 70W lamppua voitaisiin suotuisien olosuhteiden vuoksi käyttää 50W teholla koko vuotuinen 4000 tunnin poltto-aika, muodostuu 0,08 €/kWh sähkön hinnalla 7% korkokannalla takaisinmaksuajaksi yli 92 vuotta, mikäli valaisinkohtaisen säätöyksikön yksikköhinta on 100 €. Todellisuudessa säätökäyttöä voidaan käyttää vain osassa vuotuisista polttotunneista, joten todellinen takaisinmaksuaika pitenee tästäkin. Sen sijaan suurilla tehoilla, esim. 600 W tai 400 W lampuilla, takaisinmaksuajasta voi tulla jopa alle 2 vuotta. Näissä kohteissa, jotka usein ovat pääkatuja tai muita valtaväyliä, säädöstä voidaan kerätä merkittäviä taloudellisia hyötyjä. Laskettaessa takaisinmaksuaika kaavan:

$$t(a) = \frac{-\ln\left(\frac{1}{i} - \frac{H}{q}\right) - \ln(i)}{\ln(1+i)} \quad (5.1)$$

mukaisesti korkokanta huomioiden, (H =investointi, q = vuosittainen säästö, i =korko), voidaan investoinnin kannattavuutta karkeasti analysoida [TKK 2002].

Suurin hyöty valaisinkohtaisesta säädöstä saadaan paikoissa, joissa suoran energian säästönä kerätyn hyödyn lisäksi saadaan hyöty tietämällä tarkasti valonlähteiden tila vaikeasti ylläpidettävillä alueilla. Tällaisia alueita on mm. moottoritiet sekä vilkkaasti liikennöidyt kadut, joilla ylläpitotoimet aiheuttavat haittaa liikenteelle tai ylläpitotoimenpiteiden suorittaminen aiheuttaa kustannuksia liikenteenohjauksen ym. muodossa.

Tiehallinnon hallinnoimilla yleisillä teillä valonlähteiden yksikköteho on yleensä suurempi kuin kaupunkien kaduilla, ollen tavallisesti välillä 125-400 W, jolloin myös potentiaalisia säästökohteita on runsaasti. Suurimmat hyödyt tievalaistuksen säädöstä saadaan valtaväylillä, kuten moottoriteillä ja moottoriliikenneteillä. Esimerkkilaskelma:

Valonlähteiden keskimääräinen teho nimellisvalovirralla: 250 W

Valonlähteiden keskimääräinen teho säätötilanteen valovirralla: 150 W

Polttoaika: 4000 h / a, josta 2200 h säädön alennetulla teholla

Laskennassa ei ole otettu huomioon liitälaittehäviöitä, ne ovat molemmissa tapauksissa n. 10-15 % valonlähteen tehosta.

Ilman tehonsäätöä yhden valopisteen vuodessa kuluttama sähköenergia on 1 MWh, joten valaistuksen käytöstä syntyy 8 c/kWh energian hinnalla yhteensä 80 € kustannukset. Uudella säätöjärjestelmällä vuodessa kuluva energia jakaantuu nimellisteholla sekä säätötilanteen teholla kulutettuihin energioihin. Nimellistehon polttoaikana kulutetaan 450 kWh energiaa ja lisäksi säätötilanteessa yhteensä 330 kWh arvosta, joten vuotuinen energian kulutus säätöjärjestelmällä olisi laskelman mukaan 780 kWh. Säästöä järjestelmä tuottaisi vuodessa 17,6 €/valopiste, joten takaisinmaksuaika olisi 7% korkokannalla noin 7,5 vuotta, jos säätölaite maksaisi 100 €.

5.2 Ohjaus - säästömuuntaja

5.2.1 Järjestelmän osat ja toiminta

Valaistuksen ohjauksen ja jännitetasoa säättävän säästömuuntajan muodostaman järjestelmän suurin hyöty on energiakustannuksissa säästäminen. Järjestelmä

perustuu verkkokäskyohjaukseen tai muuhun perusohjausmenetelmään, joka yhdistetään kellon aikaan tai muuhun impulssiin perustuvaan säätötapahtumaan. Järjestelmä toimii normaalisti kuten mikä tahansa ulkovalaistuksen ohjausjärjestelmä. Hiljaisen liikenteen aikana järjestelmälle annetaan käsky himmentää valaistusta esimerkiksi hyödyntämällä yösähkön kytkennän verkkokäskyohjausta. Varsinainen himmennys tapahtuu ulkovalaistuskeskukseen asennettujen säästömuuntajien avulla. Nämä muuntajat muuntavat verkkojännitteen alemmalle tasolle, jolloin ulkovalaistuksen verkosta ottama teho pienenee vastaavasti. Tavallisesti verkkojännitettä pudotetaan säästötilanteessa 10-15%. Säästömuuntajien toisiojännite on normaalisti valittavissa viidestä portaasta [Silux n.d]. Kun liikenne taas vilkastuu, kytketään valaistus jälleen suoralle verkkojännitteelle.

5.2.2 Edut ja haitat

Säästömuuntajia käyttämällä on mahdollista säästää ulkovalaistuksen energiakustannuksissa. Se on helppo asentaa olemassa olevaan valaistusverkkoon, sillä sen käyttöönotto ei edellytä muutostöimenpiteitä valaisimissa tai liitäntälaitteissa. Muuntaja on kuitenkin tehosta riippuen kookas ja vaatii oman tilansa jakokaapissa. Olemassa olevien jakokaappien sisään muuntaja ei välttämättä mahdu, mutta se voidaan usein asentaa esim. olemassa olevan kaapin vastakkaiselle puolelle omaan kaappiin siten, että keskukset ovat selät vastakkain. Säästömuuntajalla säätö tuottaa tasaisen valon koko säädettävällä alueella, sillä valopisteitä ei sammuteta, vaan niiden valovirtaa pudotetaan saman verran.

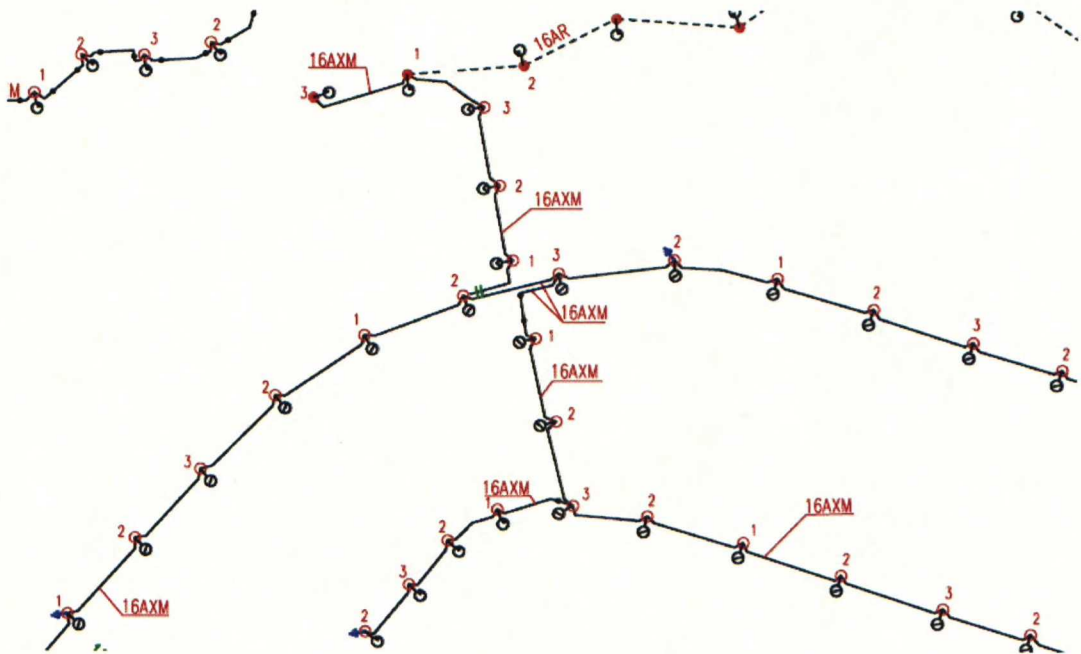
Säästömuuntaja ei sovi käytettäväksi kaikkialla. Parhaimmillaan se on suurpainenatriumlamppujen kanssa, mutta esimerkiksi vanhat elohopealamput voivat sammua niiden syöttöjännitteen pienentyessä. Ulkovalaistusryhmien maksimipituus lyhenee sekä jännitetason putoamisen että oikosulkuvirran pienemisen vuoksi. Keskukseen on lisättävä säästökytkennän ohittavia lähtöjä sellaisia ryhmiä varten, joiden himmennys ei ole mahdollista tai tarkoituksen mukaista. Erityistä huomiota on kiinnitettävä ryhmiin, joissa on liitettyinä elohopea- tai monimetallilamppuja. Näiden lisäksi esimerkiksi induktiolamppujen kanssa jännitetason valinta muuntajassa tulee valita tarkoin lamppujen toiminnan varmistamiseksi myös säätötilanteessa.

5.3 Muut ryhmä- tai aluekohtaiset säätömenetelmät

5.3.1 Kuormien kytkentä

Ulkovalaistuksen säätöä voidaan tehdä monella tavalla, joista karkein on ulkovalaistuksen jakokaapissa tapahtuva ohjaus, jossa kunkin ryhmäjohtoon yksi vaihe kytketään pois päältä. Suomessa osalla ulkovalaistusverkkoja operoivista

organisaatioista on käytössä osatehon käyttö, jossa ulkovalaistuksesta ohjataan osia pois kaikkein hiljaisimpina aikoina em. tavalla. Tällainen ohjaustapa edellyttää ulkovalaistuksen vaiheistuksen tarkkaa suunnittelua ja huolellista kytkentää, jotta voidaan varmistua, ettei pois ohjattavaan ryhmäjohtimeen ole kytketty esimerkiksi suojatien yhteydessä olevia valaisimia tai ettei ohjauksella muuten aiheuteta suoranaista vaaraa kadunkäyttäjille. Osatehon käyttö aiheuttaa myös lamppujen epätasaista ikääntymistä, joka saattaa näkyä täyden tehon kytkentätilanteessa laikukkaana ja epätasaisena valonjakamana katualueella. Epätasaisuutta aiheutuu luonnollisesti myös siitä, että katualueelta puuttuu esim. joka toisen valaisimen tuottama valo. Tällaisen kadun valaistuksen suunnitteluun liittyy problematiikkaa sen suhteen, miten valaistus mitoitetaan ja kuinka epätasainen valaistus hyväksytään osatehon käytön aikana. Osatehon käyttökohteet eivät täytä standardin SFS-EN 13201-2 tai Tiehallinnon katuvalaistukselle asettamia vaatimuksia ainakaan kokonais- ja pitkittäistasaisuuden suhteen. Osatehokytkennän käytöllä on huonon valoteknisen tilanteen tuottavana ratkaisuna onnettomuusriskiä lisäävä vaikutus. Osatehokytkentää käyttämällä saadaan kuitenkin säästää ulkovalaistuksen kuluttaman energian kustannuksissa [Suomen sähkölaitosyhdistys r.y. 1992]. Kuvassa 5.1 on esitetty ulkovalaistusverkkoa, jossa on mahdollisuus osatehon kytkennälle sammuttamalla johtimeen 2 kytketyt valaisimet. Helsingissä ei kuitenkaan käytetä tätä mahdollisuutta, vaan valaistus on päällä koko pimeän ajan.



Kuva 5.1. Osa ulkovalaistusverkkoa, jossa on osatehon kytkentämahdollisuus.

5.3.2 Osateho 2-teho kuristimella

Kun katualueen liikenne on mitoitustilannetta vähäisempää, voidaan tutkia olisiko mahdollista vaihtaa kohteessa sovellettavaa valaistusluokkaa tai muuten vähentää valon määrää. Liitäntälaittevalmistajilta on saatavissa purkauslamppujen kanssa käytettäviä kuristimia, joissa on käämitykset kahdelle vierekkäiselle vakiolampputeholle, eli esimerkiksi 50/70 W, 70/100 W, 100/150 W jne. [Idman Oy 2005]. 2-tehokuristimien käyttö ei ole kuitenkaan kovin yleistä, eikä sillä yleensä saavuteta investointina ajateltuna pienillä lampputehoilla merkittäviä säästöjä. Tehon vaihtoa varten valaisin varustetaan tehonvaihtoreleellä, jonka kelalle tuodaan ohjausjännite tehoportaan vaihtoa varten. Tehon ositus tällä menetelmällä edellyttää siis tarkoitukseen sopivan kuristimen, tehonvaihtoreleen ja ohjausjännitteen tuomisen säädettäville valaisimille. Lisäksi tarvitaan säätöalueesta riippuen kaupunki-, alue- tai jakokaappikohtainen laite, kuten kellokytkin tai verkkokäskyohjausvastaanotin, joka kytkee ohjausjännitteen tehonvaihtoreleen ohjauskaapelille.

5.4 Elektroniset liitäntälaitteet

Tie- ja katuvalaistuksessa käytettävien purkauslamppujen liitäntäyksikön korvaavia elektronisia liitäntälaitteita on ollut markkinoilla jo joitain vuosia. Suomessa ulkovalaistussektorilla ei ole kuitenkaan vielä merkittävästi kokemuksia elektronisista liitäntälaitteista, vaikka niitä käyttämällä voisi esimerkiksi saavuttaa säästöjä energian kulutuksessa.

Useimpia elektronisia purkauslamppujen liitäntälaitteita voidaan säätää portaattomasti haluttuun tasoon. Tästä syystä monet valaisinkohtaisen säädön järjestelmät perustuvatkin elektronisen liitäntälaitteen käyttöön. Elektroniset liitäntälaitteet seuraavat tavallisesti jännitteen tasoa sekä erilaisia muita jännitteen ja virran parametreja, joiden perusteella ne voivat tehdä johtopäätöksiä esim. lampun vikaantumisesta.

5.5 Yhteenveto

Perinteisesti ulkovalaistuksen säätö on toteutettu 2-teho kuristimilla tai säästömuuntajilla. Yleisin menetelmä on kuitenkin joka toisen lampun sammuttaminen, eli osatehon käyttö. Nykyiset valaisinkohtaiseen säätöön pystyvät järjestelmät ovat kuitenkin yleistymässä ja suurilla yksikkötehoilla niillä voidaan luoda tien tai kadunkäyttäjille optimaaliset olosuhteet eri liikennetilanteissa ja säästää energiaa. Valaisinkohtainen säätö edellyttää kuitenkin tiedonsiirtoa valaisintasolle saakka. Yleisimmin valaisintason kommunikointi on toteutettu PLC-tiedonsiirtona tai radioteitse.

6. OHJELMISTOT

6.1 Ohjelmistot ja ohjelmat ohjausjärjestelmässä

Kehittyneempien valaistuksen ohjaus- ja säätöjärjestelmien ydin on tietokone, joka tekee ohjauspäätökset keräämiensä tietojen perusteella sekä käsittelee ja tallentaa keräämänsä mittaus- ja tilatiedot tietokantoihin. Palvelinpään ohjelmiston lisäksi järjestelmän käyttöä varten on asiakasohjelmistoja, joilla käyttöhenkilöstö käyttää palvelimen toimintoja.

Kullakin ulkovalaistuksen ohjausjärjestelmällä on oma ohjelmistonsa, jolla järjestelmää käytetään. Lähes kaikki järjestelmät ovat ulkomaisia ja näiden vakio-ohjelmistot ovat myös ulkomaankielisiä, mikä saattaa aiheuttaa ongelmia järjestelmän käyttöönotossa ja päivittäisessä käytössä. Mikäli ohjelmistosta ei ole saatavissa Suomeen lokalisoitua versiota, on selvitettävä onko varsinaista ohjelmistoa mahdollista käyttää ulkopuolisella käyttöliittymällä esim. OLE (Object Linking and Embedding), DDE (Dynamic Data Exchange) tai joitain etäproseduurikutsumenetelmiä käyttäen vai tullaanko toimeen saatavilla olevalla ohjelmistolla. Esimerkiksi Idmanin edustamaan Edelcomin Luxicom (Telesense) järjestelmään on saatavilla tiedot ulkopuolisten ohjausten toteuttamiseksi järjestelmän varsinaisen ohjelmiston kautta.

Myös ohjauslaitteilla ja –vastaanottimilla on omat ohjelmistonsa, jotka on ohjelmoitu suoraan laitteeseen. Tämä ohjelmisto on laitteen toiminnan kannalta tärkeä ja ne on tyypillisesti mikropiireille integroituna tai esim. flash- tai eeprom-muistilla. Kaikkialla missä järjestelmähierarkiassa eri tasolla olevat laitteet tai komponentit kommunikoivat toisella tasolla olevien laitteiden kanssa, on laitteiden välinen viestintä toteutettava sovittujen käytäntöjen mukaisesti. Laitteiden ja komponenttien rajapintakuvaus on tieto, jota tarvitaan tilanteessa, jossa halutaan itse tehdä tai teettää järjestelmän hallintaan ohjelmisto. Kriittisin tieto on jakokaappikohtaisen ohjausyksikön ja keskustietokoneen välisen kommunikaation kuvaus – protokolla, jolla laitteet viestivät toistensa kanssa.

Tavallisesti laitevalmistajien ohjelmistot ovat maksullisia ja joissain tapauksissa käytettävistä ohjelmistolisensseistä pitää maksaa vielä vuotuisia lisenssimaksuja. Koska ohjelmistojen kustannukset ovat kuitenkin verrattain suuria, on syytä harkita ohjelmiston tekemisen tai teettämisen etuja ja mielekkyyttä ulkovalaistusjärjestelmää uusittaessa, mikäli valittu järjestelmä on riittävän avoin ja tarvittavat protokollakuvaukset on saatavilla. Räättälöidyllä ohjelmistolla saadaan käyttöön juuri niitä ominaisuuksia, joita organisaatio itse kokee tarvitsevänsä, mutta vastaavasti samalla saadaan myös ohjelmiston ylläpito- ja kehitysvastuu.

Jos ohjelmistoa ei tehdä itse, vaan käytetään valmistajan tekemää ohjelmistoa tai teetetään ohjelmisto kolmannella osapuolella, tulee varmistua siitä, että ohjelmistoon on saatavilla päivityksiä tulevaisuudessa. Tietotekninen kehitys on nopeaa ja toisaalta laitteiden elinikä voi olla lyhyt. Järjestelmää hankittaessa on siis varmistuttava tietoturva- ja korjauspäivitysten saamisesta tulevaisuudessakin esimerkiksi sopimusehdoin. Teetettäessä ohjelmisto kolmannella osapuolella, tulee huolehtia ohjelmiston toiminnallisten ja teknisten vaatimusten tarkasta määrittelystä ohjelmistoprojektin onnistuneen lopputuloksen saavuttamiseksi. Määrittelyt ja koko järjestelmän toiminta asianmukaisesti dokumentoimalla voidaan helpottaa sekä ohjelmointityötä että työn valvontaa. Sopivia graafisia kuvauskieliä ovat esim. UML (Unified Modeling Language), SDL (Specification and Description Language) sekä protokolla- ja viestitasolla MSC (Message Sequence Chart).

Järjestelmän avoimuus on sille hyväksi laskettava ominaisuus. Jos järjestelmän toiminta tunnetaan syvällisesti, jopa ohjelmisto- ja protokollatasolla, voidaan mahdolliset vikatilanteet ja häiriöt ratkaista tai kiertää tehokkaasti. Tämä korostuu erityisesti tilanteissa, joissa järjestelmän toimittaja on ulkomainen organisaatio, jolla ei ole huolto- tai asiakaspalvelua Suomessa. Pahimmassa tapauksessa toimittaja on toisella aikavyöhykkeellä niin, että puhelimitse tuen saanti on rajoittunut normaalin työajan ulkopuolelle.

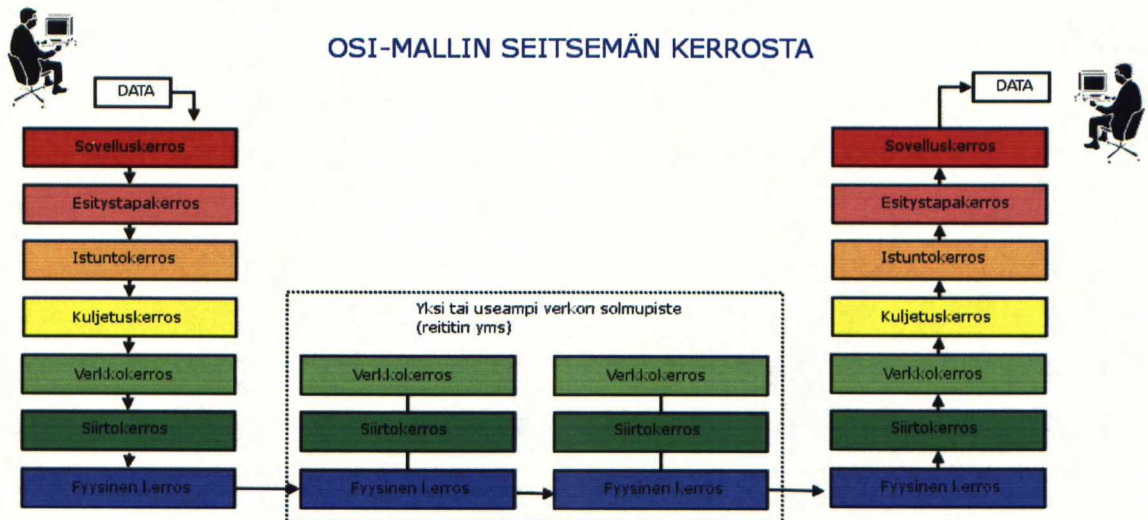
Ohjelmistoja ei aina tarvitse itse ylläpitää, vaan joitain järjestelmiä voi käyttää toimittajan maksusta tarjoaman hosting-palvelun kautta. Tällöin säästetään lisenssimaksut ja palvelimen ylläpitokustannuksissa, mutta vastaavasti menetetään mahdollisuudet toimia itse mahdollisessa vika- tai häiriötilanteessa. Eräs näkökulma on palvelun pysyvyys, kuinka voidaan olla varmoja että toimittajayritys ei lopeta palveluaan, vaan palvelun jatkuvuus on taattu. Keinoja palvelun jatkuvuuden takaamiseen ovat esim. vakuusraha tai palvelintoiminnan tuottaminen itse.

6.2 Protokollat

Järjestelmän komponenttien ja toimilaitteiden keskinäinen kommunikointi tapahtuu tietyn kaavan mukaisesti. Jos sovitusta kaavasta poiketaan, eivät liikennöinnin toiset osapuolet osaa tulkita sanomaa oikein tai se voidaan tulkita kokonaan väärin. Tästä syystä laitteiden välinen viestintä on tehtävä sovelluskohtaisesti käytettävien sääntöjen eli protokollan mukaisesti. Protokollakuvauksessa määritellään usein mm. yhteyden pystytys- ja lopettamistapahtuma, sanoma kuvaus, viallisten sanomien käsittely, käytettävien yhteysparametrien valinta sekä yhteyden tilan tarkkailu. Protokollat mahdollistavat OSI-mallin ylempien tasojen objektien, kuten sovellusten, sanomanvaihdon. Monet erilaiset ylemmän tason kerroksilla toimivat protokollat voivat

kommunikoida samanaikaisesti alemmalla tasolla olevien kerrosten kanssa [Peterson, Davie 1996].

OSI-mallin mukaiset tasot kommunikoivat laitteiden välillä vain samalle tasolle. Protokollat voivat sisältää virheenkorjausmekanismeja tai ainakin mahdollisuuden sanoman vääristymisen havaitsemiseen, esimerkiksi sisältämällä kentän paketin tarkistussummalle.



Kuva 6.1. OSI-mallin kerrokset.

Jos protokollakuvaus on avoin tai sen rajapintakuvaus on julkinen, voidaan kyseiselle tasolle valmistaa laitteita tai ohjelmistoja kenen tahansa toimesta, eikä järjestelmä ole vain yhden toimittajan varassa. Sovelluskohtaisen, suljetun protokollan tapauksessa, tulee sopimusteknisesti huolehtia siitä, että mikäli valmistaja lopettaa tuotteen valmistamisen, myynnin tai huoltopalvelujen toimittamisen, saadaan käytetyistä protokollista sellainen rajapintakuvaus käyttöön, jolla tuotteen toiminnan tulevaisuus voidaan varmistaa.

Useimmat ulkovalaistuksen ohjausjärjestelmät käyttävät internetiä tai vastaavalla toteutustavalla tehtyä suljettua verkkoa tiedonsiirtoon. Tällöin käytössä on OSI-mallin alemmilla tasoilla julkiset ja laajalti tunnetut protokollat, verkkokerroksen IP (Internet Protocol) ja kuljetuskerroksen TCP (Transmission Control Protocol) tai UDP (User Datagram Protocol). IP-protokollassa määritellään jokaiselle samassa verkossa oleville verkkolaitteille yksilöllinen IP-osoite, jonka perusteella viestintä osoitetaan oikealle laitteelle. TCP- tai UDP-protokollan paketit paketoitetaan siirrossa IP-pakettien sisään siirron ajaksi. Vastaanottavassa päässä IP-paketti puretaan ja lähetetty paketti on luettavissa [Peterson, Davie 1996].

TCP- ja UDP-protokollat ovat molemmat yleisesti käytettyjä kuljetus- eli siirtokerroksen protokollia. TCP on yhteyksellinen protokolla, jossa lähetävä ja vastaanottava pää

solmivat yhteyden ja pitävät sen yllä kunnes yhteisesti sopivat sen katkaisusta. UDP on sen sijaan protokolla, jossa asiakas lähettää paketin ja olettaa palvelimen käsittelevän sen halutulla tavalla. Käytännössä UDP-protokollaa käytettäessä pakettien perille meno on varmistettava OSI-mallin ylemmillä tasoilla. UDP-protokolla on yksinkertainen protokolla, jolla ei sen verkkotason protokollan, IP:n, ominaisuuksien lisäksi ole muita toiminnallisia ominaisuuksia [Huston 1999]. TCP:stä on useita toteutuksia, joiden ominaisuudet poikkeavat toisistaan erilaisissa yksityiskohdissa. Suurimpia eroja TCP:n eri implementaatioiden välillä on protokollan sisäänrakennetun verkon ruuhkatilanteiden hallinnan toteutustavat.

Ulkovalaistuksen ohjausjärjestelmään liittyy laitteita, joiden tehtävänä on mitata, ohjata, kommunikoida tai välittää informaatiota. Potentiaalinen ongelma on siinä, että tyypillisesti valmistajan A mittalaitetta voi lukea vain valmistajan A lukulaitteella ja samanaikaisesti valmistajan B mittalaitteen tietoja voi lukea vain B:n valmistamalla lukulaitteella. Tuloksena on kokonaisjärjestelmä, jossa useiden eri valmistajien omia protokolliaan käyttäviä laitteita on useita ja jokaisen kohdalla on riski tuotteen valmistuksen lopettamisesta tai muuten tuotetuen loppumisesta. Tätä ongelmaa ratkaisemaan on kehitetty esim. protokolla DSiP (Distributed Systems interconnection Protocol), joka toimii tulkkina eri valmistajien järjestelmien välisessä kommunikaatiossa [Nordman, Lehtonen et al. 2003].

Ulkovalaistuksen ohjausjärjestelmillä ei ole mitään yhtenäistä protokollaa, vaan kukin toimija käyttää itse valitsemaansa protokollaa. Suuri osa on valmistajien itse kehittämiä protokollia, mutta myös puoliavoimia järjestelmiä, kuten LON (Local Operating Network), on ulkovalaistuksen ohjauskäytössä.

6.3 Arkkitehtuuri

Järjestelmän arkkitehtuuri on ratkaisevassa osassa siinä, miten kokonaisuutta käytetään ja mitkä osat viestivät toistensa kanssa. Arkkitehtuuri määrittelee myös viestintätavan, eli sen kuka on viestinnän aloitteen tekijä. Arkkitehtuuri kokonaisuudessaan jaetaan yleisesti vielä verkkoarkkitehtuuriin ja ohjelmistoarkkitehtuuriin.

Verkkoarkkitehtuuri määrittelee verkon topologian ja se on olennaisessa osassa myös verkon turvallisuuden varmistamisessa. Ulkovalaistussovelluksessa verkon arkkitehtuurin määrittelevät järjestelmätoimittajan laitteiden liitäntärajapinnat sekä tiedonsiirto-ominaisuudet. Suurin osa valmiista järjestelmistä on puhtaasti asiakas-palvelin –arkkitehtuurin mukaisia, mutta esimerkiksi SMS-viesteihin perustuvat järjestelmät johtavat usein peer-to-peer –verkkoarkkitehtuurin käyttämiseen. Tärkeää

järjestelmävalinnassa on kuitenkin arkkitehtuurin vaikutus kokonaisuuden luotettavuuteen. Luotettavuutta parantaa johdonmukaisesti tehdyt rajaukset toiminnallisuudessa. Palvelimet tekevät vain niille tarkoitettuja tehtäviä, eikä samaa laitetta tai käyttöliittymää käytetä asiakaspään toimintojen suorittamiseen.

6.4 Yhteenveto

Järjestelmien eri tasoilla toimivat ohjelmat sekä näiden protokollat vaikuttavat käytettävyyteen, käyttömukavuuteen ja palvelun saatavuuteen sekä mahdollisiin tulevaisuuden laajennuksiin. Avoimet rajapinnat eri komponenttien välillä edesauttavat toiminnallisuuksien lisäämistä järjestelmään sekä mahdollistavat uusien laitteiden tai laitteistojen liittämisen ohjausjärjestelmään. Suljetut rajapinnat ja protokollat voivat johtaa riippuvuuteen valmistajasta sekä laitteistohankinnoissa että ylläpitopalveluissa.

7. SIIRTOTIEVAIHTOEHDOT

Tietoa siirretään tietoverkoissa solmujen ja palvelimen välillä. Tiedonsiirron apuna saatetaan käyttää kytkimiä, keskittimiä ja reitittäjiä siirrettävän datan ohjaukseen käytettävän verkon läpi. Verkko voi yksinkertaisimmillaan olla yksi johdinpari kahden päätelaitteen välillä. Monimutkaisemmissa verkkoratkaisuissa verkon topologia voi olla epäselvä tai sen rakenne muuttuu kulloinkin vallitsevien olosuhteiden mukaisesti. Tässä luvussa käsitellään tiedonsiirron lähetystapoja ja erilaisia vaihtoehtoja ulkovalaistuksen ohjausjärjestelmän siirtotieksi.

7.1 Lähetystavat

Nykyaikaisissa verkkoteknologioissa on yleisesti käytössä IP-protokolla ylemmillä kerroksilla olevan tiedon toimittamiseksi valittua mediaa pitkin halutulle vastaanottajalle tai vastaanottaja ryhmälle. Esimerkiksi ulkovalaistuksessa suuri osa viestinnästä hierarkiassa alaspäin on tarkoitettu kaikille alemman tason vastaanottajille, jolloin on suotavaa käyttää tekniikan suomia mahdollisuuksia lähettää sama viesti usealle vastaanottajalle.

7.1.1 Unicast

Unicast on lähetysmuoto, jossa paketti lähetetään yksittäiselle nimetylle vastaanottajalle. Paketti reititetään IP-verkossa kuten mikä tahansa kahden IP-osoitteen välillä lähetettävä paketti.

7.1.2 Broadcast

Broadcast, eli yleislähetys on lähetysmuoto, jossa sama paketti lähetetään kaikille vastaanottajille verkkoalueensa sisällä. Broadcast vähentää lähetettävien sanomien tarvetta tilanteissa, joissa sisällöltään samanlainen viesti on tarkoitettu usealle vastaanottajalle. Yleislähetystä käytetään myös tilanteissa, joissa paketin vastaanottajan osoitetta ei tiedetä, mutta tälle halutaan toimittaa sanoma. Jos verkko on jaettu pieniin virtuaalisiin lähiverkkoihin eli VLAN-segmentteihin (Virtual Local Area Network) esimerkiksi solmujen keskinäisen liikennöinnin estämiseksi, vaikeutuu samalla verkkoalueen sisällä yleislähetys-sanomien lähettäminen [Peterson, Davie 1996].

7.1.3 Multicast

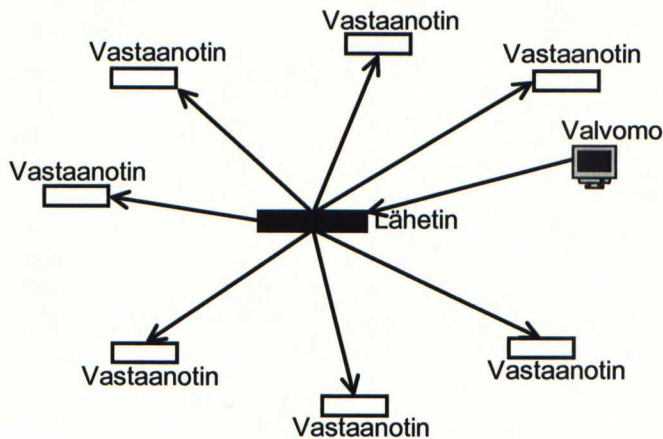
Multicast eli ryhmälähetys on lähetystapa, jossa sama sanoma lähetetään kaikille vastaanottajille, jotka kuuluvat vastaanottoryhmään. Vastaanottajat liittyvät haluamiinsa

ryhmälähetysryhmiin, ja verkon reitittimet huolehtivat sanomien lähetyksestä niitä haluaville [Peterson, Davie 1996].

7.2 Langalliset siirtotievaihtoehdot

7.2.1 PJ-verkko

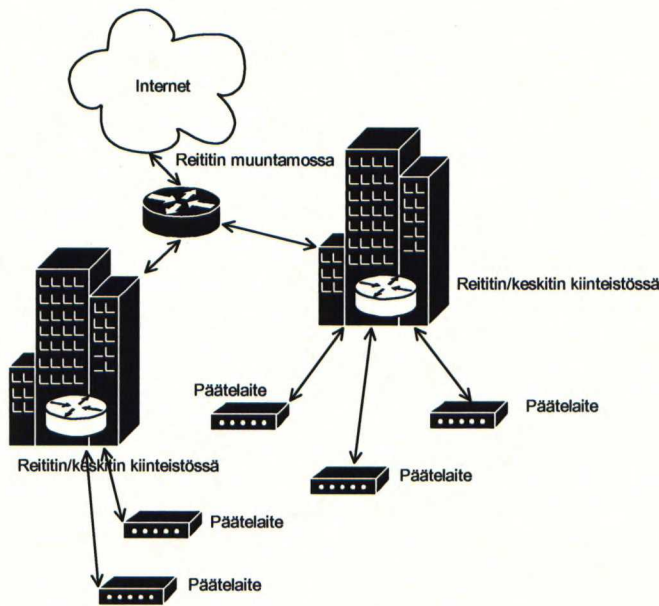
Pienjänniteverkkoa tiedonsiirtoon käytettäessä ei uutta ohjausverkkoa tarvitse rakentaa, vaan voidaan käyttää olemassa olevaa sähköverkkoa tiedonsiirtoon. Esimerkiksi nykyisin käytössä olevat Melko, AIM ja perinteinen verkkokäskyohjaus käyttävät pienjänniteverkkoa siirtotienään. Järjestelmän lähettimet on sijoittava tavallisesti 20kV sähköasemille, joten laitteiden ylläpitoon tulee samalla osallistumaan ulkovalaistusorganisaatioiden ulkopuolisia edustajia. Topologialtaan PJ-verkkotiedonsiirto on sähköasemilta verkkohierarkiassa alaspäin säteittäinen.



Kuva 7.1. Yleislähetysmuotoinen pienjänniteverkon tiedonsiirto.

Turussa paikallinen energialaitos tarjoaa pienjänniteverkon kautta toteutettavaa internet-yhteyttä. Sovelluksessa valituille muuntamoille on tuotu nopea valokuituyhteys, joka jaetaan asiakkaiden käytettäväksi pienjännitepuolella 0,5 – 1,1 Mbit/s nopeudella toimiviksi tietoliikennedyhteisiksi [Turku Energia 2005].

Turun laajakaistaisen "Datasähkö"-tuotteen ja muutaman muun vastaavan tuotteen lisäksi Suomessa pienjänniteverkossa ei ole käytössä muita merkittäviä tiedonsiirtonopeudeltaan suuria tietoliikennetekniikoita. Laajakaistaisella pienjännitetiedonsiirrolla käytettävä lähetystapa on vapaa. Verkkokäskyohjaus ja muut vaatimattoman tiedonsiirtokapasiteetin yhteydet ovat tavallisesti yksisuuntaisia ja broadcast -tyylisiä, eikä niillä välttämättä ole paluukanavaa lainkaan.



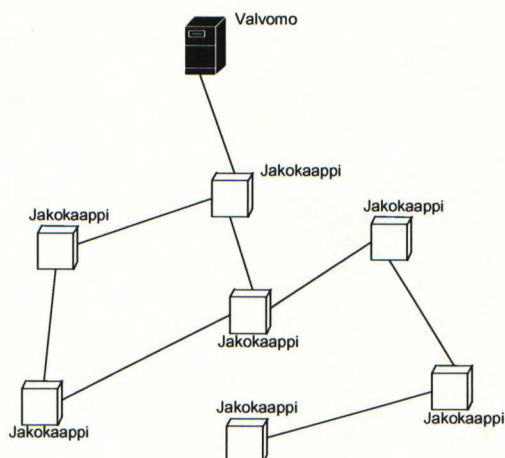
Kuva 7.2. Laajakaistainen tiedonsiirto pienjänniteverkossa.

Eräs maailmalla yleinen PLC-tekniikka on X10, joka on kuitenkin yleisemmin kodeissa käytetty PJ-verkon viestintätekniikka. X10 keksittiin ja patentoitiin 1970 –luvun lopussa, jonka jälkeen sitä on käytetty pienimuotoiseen automaatioon ja ohjaustarkoituksiin. X10 on kuitenkin perusversionaan yksisuuntaista, ja sen tiedonsiirtonopeus on vaatimaton: 60 bittiä sekunnissa. X10 ei ole laajamittaiseen ulkovalaistuksen ohjaukseen sopiva järjestelmä, sillä sen signaalin kulkemiseksi PJ-verkossa tarvittaisiin runsaasti toistimia.

7.2.2 Kiinteä yhteys

Kiinteän yhteyden verkko edellyttää oman tietoliikenneverkon rakentamista, sen vuokraamista tai ostamista. Yhteys rakennetaan haluttujen solmukohtien välille halutulla tiedonsiirtomedialla, esimerkiksi parikaapelilla tai valokuidulla. Ulkovalaistuksen tiedonsiirtotarpeet ovat siinä määrin vaatimattomia, että valokuituyhteyden rakennus- ja ylläpitokustannukset sekä tiedonsiirtokapasiteetti ovat käyttötarkoitukseen nähden liian suuria. Valokuituverkkoon olisi saatava varsinaisen ohjaustoiminnan lisäksi muita palveluita, jotka voisivat nostaa verkon kuormitusta tasolle, jolla sen rakennusinvestoinnin takaisinmaksuaika voidaan saada järkevälle aikavälille. Parikaapeliverkon media on mikä tahansa sovelluskohtaisesti soveltuvien parikaapeli.

Etuna kiinteän yhteyden tapauksessa on vapaasti valittavissa oleva verkon topologia. Verkkoa voidaan rakentaa sinne mihin sitä tarvitaan, ja yhteyden laatu voidaan pitää ennalta määritellyllä tasolla.



Kuva 7.3. Esimerkki mahdollisesta kiinteän verkon topologiasta.

Tiedonsiirtonopeuteen ja yhteyden laatuun vaikuttaa käytetty yhteystekniikka ja välimatkat. Pitkä etäisyys aiheuttaa mm. signaalin vaimennusta. Yleisesti eri verkkotekniikoiden standardeissa on määritelty maksimi pituudet yhteysväliille. Käytännössä kuitenkin esim. Ethernet-verkkojen eri versiot määrittelevät haaran maksimipituudeksi 100m parikaapeliverkoissa ja 2000m valokuituverkoissa [Dean 2005].

Käytännössä etäisyydet solmujen välillä ovat ulkovalaistusverkossa suurempia kuin 100 metriä, joten tiedonsiirtoon on käytettävä muita tekniikoita kuin esim. suoraa Ethernet-yhteyttä tai RS232-portin kautta toteutettua linkkiä. Siirtoetäisyyttä voidaan kasvattaa esim. toteuttamalla solmupisteiden väli ADSL- tai VDSL-siltana. Menetelmä vaatii lisää aktiivilaitteita jakokaappeihin tai muihin käytettyihin solmupisteisiin, mistä johtuen tietoliikennelaitteiden huoltokohteiden määrä kasvaa yhdestä kolmeen per solmupiste. Näin toteutettuna järjestelmä on hyvin samankaltainen kuin puhelinverkossa toimivat muut tietoliikennejärjestelmät, joten tarkempi käsittely tehdään myöhemmin tässä luvussa.

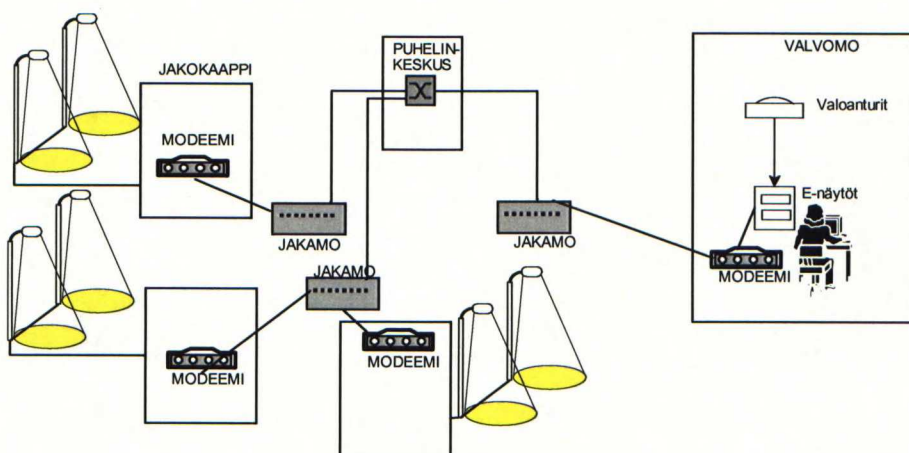
Kiinteää verkkoa voidaan käyttää myös suoraan ohjauskaapeliverkkona niin, että kultakin jakokaapilta kaapeloidaan seuraavalle solmulle ohjaus- ja indikointitarkoituksia varten oma kaapeli tähän tarkoitukseen. Ohjaussignaali tuodaan yhdelle tai useammalle keskukselle, josta se vyörytetään eteenpäin seuraaville keskuksille. Ohjausryhmien lukumäärän mukaan järjestelmän ohjauskäyttöön varattujen johtimien määrä on $1 + \text{ryhmien lukumäärä}$. Yksinkertaisimmillaan vaihtojännitteinen ohjaussignaali voidaan tuoda keskukselle syöttökaapelin ylimääräisessä johtimessa ja käyttää yhdistettyä nolla- ja suojajohdinta, eli PEN-johdinta sulkemaan ohjauspiiri. Tasajännitteellä toteutettava järjestelmä edellyttää erillisen kaapelin käyttöä. Paluutieto takaisin järjestelmähierarkiassa ylöspäin pitää kerätä alhaalta ylöspäin erikseen, jos

yksilöityä indikointia tarvitaan. Koottu rinnakkain kytkettyjen koskettimien indikointitieto voidaan toteuttaa erilaajuisin vaihtoehtoin, esimerkiksi kaupunginosittain tai alueittain. Jakokaappikohtaisen yksilöintitiedon saaminen edellyttää raskasta kaapelointia järjestelmän yläpäähän. Tällöin käytettävien johtimien lukumäärä indikointia varten valvomopäässä on vähintään 1+jakokaappien lukumäärä, eli Helsingin kokoisen kaupungin verkossa yli 1700 indikointijohdinta. Käytännössä näin laajan järjestelmän ristikytkentä on niin monessa portaassa tehtävä, hyvin laaja sekä huonosti laajennettava, että sellaisen rakentaminen ei ole järkevää. Lisäksi järjestelmän rakennuskustannukset ovat suuret.

7.2.3 Puhelinverkko

Puhelinverkko on käytännössä lähes valmis infrastruktuuri, jossa tiedonsiirto tapahtuu piirikytkentäisillä johdinpareilla. Puhelinverkon omistajilta on tavallisesti mahdollista vuokrata johdinpari kiinteällä kytkennällä omaan käyttöön. Vuokraamisen edellytyksenä on vapaiden johdinparien riittävyys yhteysvälin jakamoissa sekä keskuksen kapasiteetti.

Puhelinverkossa tiedonsiirto tapahtuu normaalisti modeemien avulla. Modeemit moduloivat tiedon analogisiksi signaaleiksi, joita kuljetetaan puhelinverkon läpi kuten mitä tahansa ääntä ja lopuksi vastaanotinpää demoduloi vastaanottamansa analogisen signaalin takaisin digitaaliseksi. Puhelinverkon ja modeemien avulla toteutetut yhteydet ovat point-to-point -tyyppisiä, eli valvomon pitää soittaa kaikille ala-asemille erikseen.



Kuva 7.4. Yleisen puhelinverkon kautta liittyminen valvomoon.

ISDN eli Integrated Services Digital Network on puhelinverkkoa käyttävä digitaalinen piirikytkentäinen järjestelmä. Sitä tarjotaan tavallisesti kahdella palvelun laajuuskonseptilla BRI (Basic Rate Interface) ja PRI (Primary Rate Interface). BRI on kahdesta tiedon välitykseen tarkoitettusta B-kanavasta ja yhdestä signalointiin tarkoitettusta D-kanavasta koostuva järjestelmä. Yhden B-kanavan

tiedonsiirtokapasiteetti on 64 kbit/s ja D-kanavan 16 kbit/s. Myös D-kanava voidaan tietyissä olosuhteissa valjastaa datan siirtoon, mutta pääasiallisesti B-kanavat on tätä tarkoitusta varten. PRI -järjestelmässä B-kanavien lukumäärä on yhteensä 30 ja signaalointiin käytetään yhtä D-kanavaa. Yhden kanavan nopeus on BRI:n tavoin 64 kbit/s, joten PRI-järjestelmän kokonaisnopeus on 2048 kbit/s [Edwards et al. 2005].

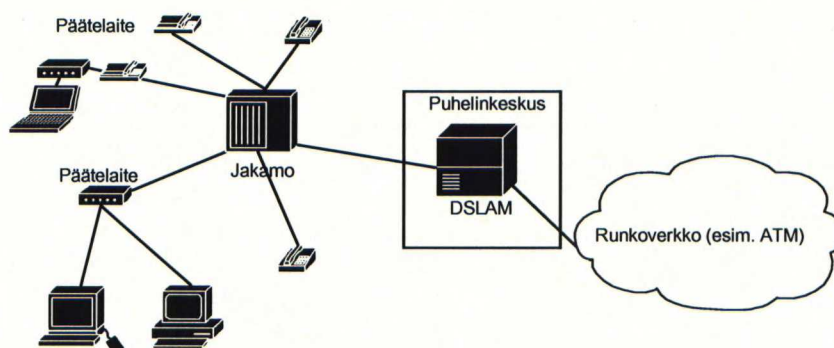
7.2.4 Puhelinverkossa toimivat pakettikytkentäiset järjestelmät

Yleisen puhelinverkon kaapelointi on tarkoitettu taajuusalueeltaan 300-3400 Hz alueella olevan puheen välitykseen. Verkossa tiedonsiirtoon tarkoitetut modeemit moduloivat siirrettävän datan tälle taajuusalueelle. Modeemeja käytettäessä tiedonsiirto on verrattain hidasta, yleensä korkeintaan 56 kbit/s. Puhelinverkkoa voidaan käyttää kuitenkin nopeampaankin tiedonsiirtoon esimerkiksi nykyaikaisemmilla ADSL-, VDSL- tai SDSL-tekniikoilla (Asymmetric Digital Subscriber Line, Very high bitrate Digital Subscriber Line, Symmetric Digital Subscriber Line). Näissä tekniikoissa tiedonsiirto tapahtuu huomattavasti korkeammilla taajuuksilla kuin puheliikenne, ja kaapelin impedanssiominaisuuksista johtuen vaimennus kasvaa merkittävästi taajuuden noustessa. Tässä käsitellään DSL-tekniikoista nykyisin selvästi yleisin ADSL sekä nopeudeltaan suuri, nykyisin mm. taloyhtiöverkoissa yleisesti käytetty VDSL. Muut DSL-tekniikat ovat arkkitehtuuriltaan hyvin samankaltaisia näiden kanssa.

ADSL

ADSL on tekniikka, jossa solmupisteelle tulevan liikenteen (laskeva) ja siitä lähtevän liikenteen (nouseva) nopeudet ovat usein toisistaan poikkeavat. Standardin mukaisen ADSL:n laskeva nopeus voi olla 8 Mbit/s ja nousevan liikenteen nopeus n. 1Mbit/s. Pienemmillä nopeuksilla operaattorit voivat kuitenkin tarjota liittymää symmetrisenä esim. 256/256 kbit/s tai 512/512 kbit/s. ADSL:n käyttämä taajuusalue ulottuu noin megahertsiin asti. Taajuuskaista on jaettu n. 4khz levyisiin lohkoihin, joita kutsutaan apukantaaalloiksi. Kukin QAM (Quadrature Amplitude Modulation) -moduloitu apukantaaalto voi kuljettaa 2-15 bittiä linjan olosuhteiden mukaan. Täydellisissä olosuhteissa teoreettinen maksimitiedonsiirtonopeus ADSL-yhteydsvälillä on siis n. 15Mbit/s.

ADSL-päätelaite on puhelinverkon kautta yhteydessä puhelinoperaattorin keskustiloissa olevaan Digital Subscriber Line Access Multiplexeriin, eli DSLAMIin -laitteeseen joka yhdistää operaattorin runkoverkon ja ADSL-liittymien tilaajajohdot [Hakola et al. 2000].



Kuva 7.5. ADSL-liittymän kytkeytyminen runkoverkkoon.

VDSL

VDSL on ADSL:n kaltainen tavallista puhelinkaapelointia tiedonsiirtomedianaan käyttävä järjestelmä. VDSL pystyy nimensä mukaisesti suuriin tiedonsiirtonopeuksiin, mutta kuten muissakin järjestelmissä, myös VDSL:n nopeuteen vaikuttaa etäisyys. Tyypillisesti käytetty VDSL –nopeus on symmetrinen 15/15Mbit/s, mutta tekniikka mahdollistaa myös nopeamman tiedonsiirron. VDSL:n kaltaisia järjestelmiä on kehitetty eri valmistajien toimesta ja toistensa kanssa kilpailevia ratkaisuja on markkinoilla. Tähän epäselvään tilanteeseen on johtanut pitkään vallinnut standarditon tilanne markkinoilla VDSL-tekniikan osalta. Esimerkkinä näistä VDSL:n kaltaisista valmistajakohtaisista järjestelmistä mainittakoon Suomessakin paikoittain käytössä oleva Ciscon Long Reach Ethernet eli LRE [Hakola et al. 2000].

VDSL –tekniikoiden käyttämät modulaatiotavat ovat QAM tai DMT (Discrete Multi Tone), jotka eivät ole toistensa kanssa yhteensopivia.

7.5 Langattomat siirtotievaihtoehdot

7.5.1 WLAN

Wireless Local Area Network, eli WLAN on 2000 –luvulla nopeasti yleistynyt langaton lähiverkkotekniikka, joka käsittää IEEE 802.11b tai 802.11g (Institute of Electrical and Electronics Engineers) -mukaiset tekniikat. Standardiperhe sisältää muitakin langattomia lähiverkkosovelluksia, mutta em. tekniikat ovat näistä yleisimmät. 802.11b, joka tunnetaan WiFi:nä (Wireless Fidelity), on näistä vanhempi ja tarjoaa 11Mbit/s tiedonsiirtonopeuden. 802.11g:n tiedonsiirtonopeus on maksimissaan 54 Mbit/s. Tiedonsiirtoetäisyys WLAN-tekniikoilla on tavallisesti muutamia kymmeniä metrejä jos lähettimen ja vastaanottimen välillä on esteitä, eikä suoraa näköyhteyttä antennien välille saada.

WLAN-tekniikat käyttävät ns. ISM-taajuuksia viestintäänsä. ISM, eli Industrial, Scientific ja Medical –taajuudet ovat teollisuuden, tieteen ja lääkintätarkoituksiin tarkoitettuja lisensioimattomia taajuuksia, joiden käyttö on sallittua ilman erillisiä käyttöluvia. Näilläkin taajuuksilla siirtotien maksimi säteilytehoteho EIRP (Effective Isotropic Radiated Power) on kuitenkin määritelty, se on WLAN-järjestelmien käyttämällä 2,4 - 2,4385 GHz ISM-alueella 100mW EIRP [Viestintävirasto 2002].

WLANin kanssa samaa ISM-kaistaa käytetään yleisesti moniin lagattomiin tiedonsiirtotarkoituksiin, kuten esimerkiksi Bluetooth-yhteyksiin. Samalla taajuudella tapahtuva liikennöinti häiritsee muita taajuuden käyttäjiä, jolloin liikennöinti voi hidastua tai jopa tukahtua täysin. WLANin tiedonsiirtokaista on jaettu Euroopassa 13 kanavaan, jotka ovat toistensa kanssa osittain päällekkäisiä. Kanavan vaihtaminen voi auttaa häiriöttömämmän yhteyden saavuttamisessa, mutta taajuusalueen ollessa vapaasti käytettävissä ja koska sitä käytetään yleisesti mobiilien laitteiden kanssa, ovat satunnaiset tai jatkuvat häiriöt tiedonsiirrossa todennäköisiä [Prasad, Prasad 2002].

WLAN-tiedonsiirtokanavan tukkiminen ja palvelun estäminen on helppoa vain kyllästämällä kanava lähettämällä sille jatkuvasti tietoa, joka aiheuttaa muun liikennöinnin estymisen. Tämä on osittain WLANin vuoro-suuntaisesta tiedonsiirtotavasta johtuvaa, sillä tietoa lähetetään ja vastaanotetaan vuorotellen eri aikoina. Jos kanavalle lähetetään jatkuvasti dataa, pysyvät muut päätelaitteet ja tukiasemat kuuntelutilassa, kunnes media vapautuu jälleen muiden tiedonsiirtoon [Rittinghouse, Ransome 2004].

7.5.2 WIMAX

Wimax on nopea langaton MAN-verkkoratkaisu (Metropolitan Area Network). Sen taustalla on n. 220 yrityksen muodostama konsortio, jonka tarkoituksena on tukea IEEE 802.16a mukaisen mikroaaltotaajuuksella toimivan radiojärjestelmän leviämistä ja käyttöönottoa maailmanlaajuisesti. IEEE 802.16a –mukainen teknologia mahdollistaa kilometrien yhteysvälillä liikennöinnin jopa 40 Mbit/s nopeudella per kanava sekä kiinteille että mobiileille yhteyksille [Wimax Forum 2005]. Wimax mahdollistaa adaptiivisen modulaatiotavan käyttämisen siirtovälillä. Hyvissä olosuhteissa käytetään modulaatiotekniikkaa, joka mahdollistaa suuremman siirtonopeuden ja olosuhteiden ollessa huonommat valitaan modulaatiotapa, jolla virhesietoisuus on parempi, mutta siirtovälin nopeus pienempi.

Tekniikka on kuitenkin vasta tuloillaan markkinoille, joten kustannustehokkaita järjestelmiä joudutaan vielä odottelemaan. Järjestelmiä kuitenkin rakennetaan Suomessakin ja esimerkiksi Haminan Energia Oy on päättänyt rakentaa Haminaan Wimax-teknologialla toteutetun tiedonsiirtoverkon [Haminan Energia Oy 2005]. Lisäksi

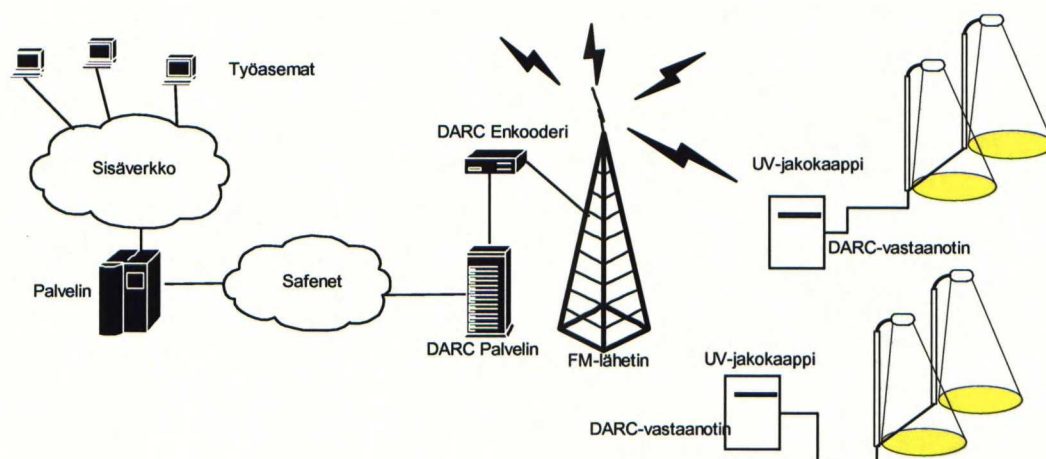
Wimax-verkkohankkeita on käynnissä eri kaupungeissa esim. Pohjanmaalla, Etelä-Savossa ja Pohjois-Karjalassa.

7.5.3 DARC

DARC on teknologia joka hyödyntää olemassa olevaa yleisradioverkkoa pienimuotoiseen digitaaliseen tiedonsiirtoon. Järjestelmän käyttämä tiedonsiirtokanava on ULA-kanavien apukantaaalta 76 kHz taajuudella. DARC-järjestelmä on määritelty standardissa ETS 300751. Järjestelmän käyttämä tiedonsiirtoprotokolla on määritelty tutkimushankkeessa Eureka EU 1197 [Digita Oy 2003].

Järjestelmän teoreettinen tiedonsiirtonopeuden maksimi on tasan 16 kbit/s, mutta käytännössä nopeudet ovat 6,8-9,8 kbit/s protokollan kehysrakenteen ja muiden tiedonsiirrossa tapahtuvien häviöiden sekä virheenkorjauksen ja mahdollisen salauksen takia. Tiedonsiirto on yksisuuntaista ja puhtaasti broadcast- eli yleislähetystyyppistä. DARC-järjestelmän suurin etu on olemassa oleva signaalin peittoalue, joka kattaa lähes koko maan [Digita Oy 2003].

DARC-järjestelmää hyödyntävä ulkovalaistuksen ohjausjärjestelmä tarvitsee tiedonsiirron kaksisuuntaistamiseksi paluukanavaksi esimerkiksi GPRS-yhteyden. Yhteys UV-valvomotasolta ala-asemina toimiville DARC-vastaanottimille tapahtuu ensin jotain luotettavaa tiedonsiirtoväylää pitkin Suomessa radio- ja TV-palvelujen jakeluyhtiön Digitan tiloihin, josta hälytysviesti toimitetaan DARC-enkooderille. Viesti siirretään FM (Frequency Modulation) –lähettimelle, josta signaali siirtyy langattomalle siirtotielle. Kentällä oleva DARC-vastaanotin purkaa sanoman ja tekee sanoman mukaiset toimenpiteet [Digita Oy 2003].



Kuva 7.6. Yksisuuntainen DARC-järjestelmä.

DARC-järjestelmän hyvä peitto ja toimintavarmuus tekevät siitä houkuttelevan ohjausjärjestelmän siirtotien. Haittapuolina on, ettei kaupallisia ulkovalaistuksen

ohjausjärjestelmiä ole toistaiseksi rakennettu DARCin varaan ja se, ettei järjestelmällä sellaisenaan ole paluukanavaa. DARCin yhdistämällä esim. paluukanavana toimivaan GSM-verkkoon tai VHF/UHF-alueen radiomodeemiin saadaan kokonaisuus, jossa järjestelmän tärkein tehtävä saadaan ohjattua luotettavasti DARCin kautta ja ulkovalaistuksen kannalta sekundääriset asiat voidaan toteuttaa muiden käyttövarmuudeltaan ehkä kyseenalaisempien verkkojen kautta.

DARCin luotettavuus on vuositasolla yli 99,95%, mutta se vaihtelee lähetalueittain. [Digita Oy 2003] Olemassa olevia radioverkkoja voidaan hyödyntää myös RDS- (Radio Data System) ja DRM- (Digital Radio Mondiale) tekniikoilla. RDS on taajuusmoduloitujen lähetysten yhteydessä datan siirtoon kehitetty tekniikka, joka on käytössä lähes kaikilla Suomen radiokanavilla. DRM on amplitudimoduloitujen lähetysten yhteydessä datan välitykseen kehitteillä oleva tekniikka. DRM on avoin järjestelmä eikä sen käyttöönotto tai käyttäminen edellytä rojalTIMaksujen tai lisenssimaksujen suorittamista, kuten esimerkiksi DARCin tapauksessa.

7.5.4 VHF JA UHF

VHF (Very High Frequency) ja UHF (Ultra High Frequency) ovat radiotaajuusalueita, jota on perinteisesti käytetty radiopuhelinkäytössä. VHF:n taajuusalue on 30-300 MHz ja UHF:n 300-3000 MHz. VHF- ja UHF-alueita voidaan käyttää myös tiedonsiirtoon ja perinteisesti tällä alueella onkin käytetty radiomodeemeja. Alempien taajuuksien radiomodeemit ovat tiedonsiirtokapasiteetiltaan vaatimattomampia verrattuna esim. mikroaaltoalueella toimiviin tiedonsiirtotekniikoihin. Tyypillisen VHF-alueella toimivan radiomodeemin tiedonsiirtonopeus on 9600 bittiä sekunnissa 25 kHz leveällä kanavalla ja 4800-7200 bittiä sekunnissa 12,5 kHz levyisellä kanavalla.

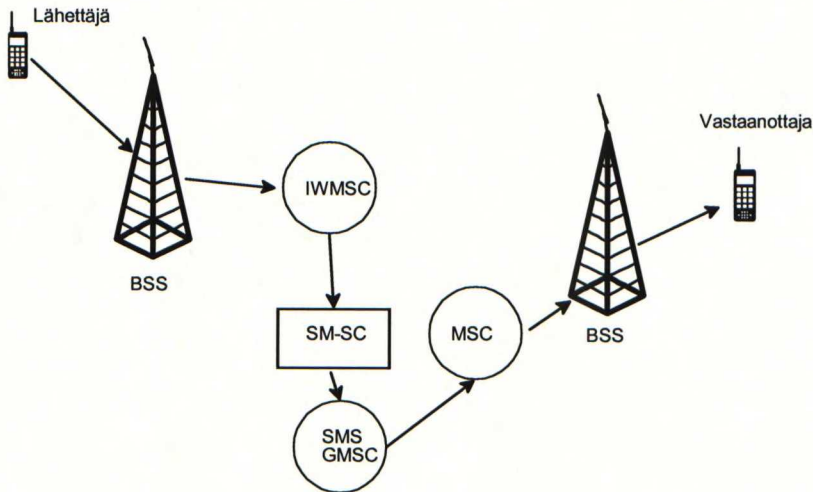
VHF- tai UHF-alueella tapahtuvaan tiedonsiirtoon tarvitaan maksullinen lupa Viestintävirastolta. Tämä maksu on nimeltään taajuusmaksu ja se kannetaan vuosittain. Maksun suuruuteen vaikuttaa kauko-ohjaus, kaukomittaus- ja datasiirtojärjestelmien tapauksessa järjestelmän käyttöalue sekä käytettävä taajuus ja taajuusmäärä [Liikenne- ja viestintäministeriö 2005].

Taajuusmaksuista muodostuisi suurimmille kaupungeille ulkovalaistuksen VHF-/UHF-kauko-ohjauksen käytöstä joitain kymmeniä tuhansia euroja kustannuksia vuositasolla.

7.5.5 GSM-SMS

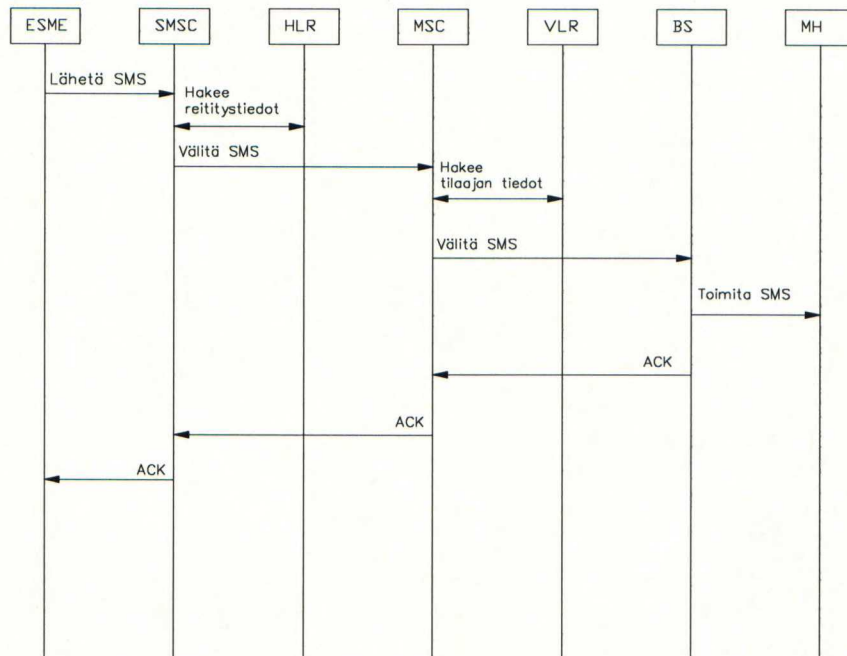
GSM-verkossa siirrettävillä lyhytviesteillä voidaan tehdä yksi- tai kaksisuuntaista tiedonsiirtoa mittaus- ja ohjaussovelluksiin. SMS, eli Short Message Service, on GSM-verkon palvelu, jossa tieto välitetään 160 merkin pituisissa lyhytsanomissa. Lähettäjä

lähettää viestin tukiasemajärjestelmän (BSS) kautta IWMSC:lle eli Internetworking Mobile Switching Centerille, joka välittää viestin edelleen tekstiviestikeskukselle (SM-SC). Viesti toimitetaan vastaanottajan GSM-verkon SMS GMSC:lle, eli Short Message Service Mobile Switching Centerille, joka ohjaa viestin edelleen ao. MSC:lle. Vastaanottajan tukiasema (BSS) välittää lopulta viestin vastaanottajan päätelaitteeseen kuvan 7.7 mukaisesti [Lin, Chlamtac 2001].



Kuva 7.7. Tekstiviestin kulku lähettäjältä vastaanottajalle.

Lyhytsanoman 160 merkin pituus on riittävä useimpiin ohjaus- ja mittaussovelluksiin. Viestin läpimenoaika sen sijaan voi vaihdella merkittävästi verkon eri osien kuormitustilanteen mukaan. Kuvassa 7.8 on esitetty MSC (Message Sequence Chart) kaavio tekstiviestin lähetyksen yhteydessä tapahtuvasta tiedonkulusta.



Kuva 7.8. MSC-kaavio tekstiviestin kulusta matkapuhelinverkossa [Enck, Traynor, McDaniel, La Porta 2005].

ESME (External Short Message Entity), eli GSM verkon ulkopuolinen tekstiviestin lähetyksyksikkö lähettää tekstiviestin SMSC:lle, joka hakee HLR:ltä (Home Location Register) reititystiedot vastaanottavan päätelaitteen osalta. Näiden sijaintitietojen perusteella SMSC osaa välittää tekstiviestin oikealle MSC:lle. MSC Hakee VLR:ltä (Visitor Location Register) päätelaitteen eli tilaajan sijaintitiedot ja toimittaa tekstiviestin ao. BS:lle (Base Station) eli tukiasemalle. Tukiasema toimittaa tekstiviestin kohteelle ja kuittaa lähetyksen toimitetuksi MSC:lle ja tämä edelleen kuittaa lähetyksen tilan SMSC:lle, joka lopuksi tekee kuittauksen lähettäjälle [Enck, Traynor, McDaniel, La Porta 2005].

Järjestelmän toimittajasta ja konfiguraatiosta riippuen tekstiviestejä varastoidaan vastaanottajan ollessa tavoittamattomissa eripituinen aika. Myös säilytettävien viestien lukumäärä ja jonotusjärjestely maksimimäärän ylittyessä vaihtelee toimittajasta ja operaattorista riippuen. Tavallisimmat jonotusjärjestelmät ovat normaali jono FIFO (First In First Out) ja pinojärjestely LIFO (Last In First Out). Jonotusjärjestelmä voi olla edesauttamassa palvelun estymistä tilanteessa, jossa verkon viestinvälityskapasiteetti on äärirajoillaan teknisten ongelmien tai vahingoittamis- tai häirintätarkoituksella toteutetun palvelunestohyökkäyksen vuoksi. Jos ulkopuolisista lähteistä tulvitetaan jotain verkkoelementtiä tai päätelaitetta yli sen käsittelykapasiteetin ollaan palvelunesto eli DoS (Denial of Service) –tilanteessa, jossa toivotut viestit hukkuvat vihamielisten viestien määrään. Tekstiviestikeskukset kuitenkin usein erottelevat sisääntulevien

kanaviensa liikennettä, joten yhdestä kanavasta tuleva vihamielinen liikenne voidaan estää päätelaitteelle ja samalla sallia toisten kanavien liikennöinti. Päätelaitteen muisti voi olla myös rajoittavana tekijänä viestien käsittelyssä. Pienellä muistilla varustettu päätelaite voi tukkeutua pienestä määrästä viestejä, jolloin se nostaa "Mobile-Station-Memory-Capacity-Exceeded"-lipun. Lipun olemassaolosta HLR tietää, ettei päätelaitteelle voida toimittaa enempää viestejä ennen kuin ko. lippu lasketaan. Ruuhkatilanteessa tämä johtaa viestien taltioimiseen verkon puskureihin, joka aiheuttaa pientä viivettä palveluun [Enck, Traynor, McDaniel, La Porta 2005].

Tekstiviestit ja puhe kulkevat GSM –verkon ilmatiellä eri kanavilla. Massatapahtumissa monesti tapahtuva verkon tukkeutuminen puheliikenteeltä ei välttämättä tarkoita, etteivätkö tekstiviestit kulkisi normaalisti, sillä ne käyttävät normaalin liikennöintikanavan TCH:n sijaan ohjauskanavia CCH, joilla päätelaitteiden ja verkon välinen signaointi tapahtuu [Enck, Traynor, McDaniel, La Porta 2005].

7.5.6 GPRS

GPRS on GSM-verkon laajennus pakettimuotoisen tiedon lähetykseen. Tieto kuljetetaan langattomasti päätelaitteen ja matkapuhelinverkon välillä, matkapuhelinverkosta eteenpäin voidaan liittyä muihin verkkoihin kuten esim. julkiseen internetiin tai X.25 verkkoon. GPRS:n nopeus on 21,4 kbit/s jokaiselle aikasiivulle ja modulaatiotapana on GSM:n perusmodulaatiotapa GMSK, eli Gaussian Minimum Shift Key.

GPRS-järjestelmä koostuu GSM-verkon elementeistä pienin lisäyksin. Järjestelmän runko: tukiasemat, ohjaimet sekä koti- ja vierasrekisterit ovat samat kuin normaalissa GSM-käytössä. Peruselementtienkin on kuitenkin tuettava GPRS-liikennöintiä, joten kaikkein vanhimmat verkkoelementit eivät ole GPRS-valmiita. Tukiasemaohjaimeen (BSC) liitetään GPRS-järjestelmän ytimeen kuuluva SGSN –verkkoelementti joka GPRS-runkoverkon kautta yhdistyy GGSN:ään (Gateway GPRS Support Node) ja sitä kautta yleisimmin internetiin. GPRS-järjestelmä on esitetty aiemman luvun 4.6 kuvassa 4.5, jossa käsiteltiin GPRS-pohjaisia ohjausjärjestelmiä. SGSN-verkkoelementti (Serving GPRS Support Node) ylläpitää tietoa päätelaitteen sijainnista ja toimii vastaavassa roolissa kuin MSC tavallisessa GSM-käytössä, eli välittää liikenteen sijaintirekisterien antamien tietojen perusteella oikealle BSC:lle. MSC toimii kuitenkin GPRS-käytössä vain signaointitarkoituksissa. SGSN on vastuussa autentikoinnista eli osapuolten tunnistamisesta, pääsynvalvonnasta ja salauksesta. [Ruohonen 2004] [Stuckmann 2003] GGSN on verkkoelementti joka toimii reitittimenä GPRS-runkoverkon ja ulkoisten verkkojen välillä ja huolehtii pakettien välittämisen SGSN:lle, johon päätelaite on yhteydessä. [Haapaniemi 2005] GGSN toimii samalla reitittimenä

APN:n (Access Point Name) mukaisen kohdeverkon valinnassa. APN voi olla yksityinen, jolloin GPRS verkon päätelaitteet voivat liittyä asiakkaan omaan verkkoinfrastruktuuriin.

GPRS-järjestelmän turvallisuusriskit liittyvät lähinnä operaattoritason laitteisiin ja järjestelmän elementteihin. Päätelaitetasolla palvelunestohyökkäys on ainoa huomioitava verkon kautta tapahtuva turvallisuusuhka, mikäli palomuri on asianmukaisesti toteutettu ja operaattori huolehtii onnistuneesti omista järjestelmistään.

Koska sama päätelaite voi viestiä sekä piiri- että pakettikytkentäisesti sovelluksesta riippuen, on päätelaitteet luokiteltu kolmeen luokkaan rinnakkaisviestintäominaisuuksiensa mukaan [Stuckmann 2003].

Luokka A: Kaikkien palvelujen samanaikainen käyttö muuttumattomalla äänen laadulla

Luokka B: Palveluiden rajoitettu samanaikainen käyttö heikennetyllä puheenlaadulla

Luokka C: Ei palveluiden samanaikaista käyttöä pl. tekstiviestien vastaanotto

Nykyaikaiset luokan B –pätelaitteet eivät voi siis samanaikaisesti siirtää GPRS-dataa ja vastaanottaa puheluita tai käyttää muita piirikytkentäisen GSM-verkon palveluita [Stuckmann 2003].

Kun päätelaitteella on aktiivinen GPRS-yhteys päällä ja se saa signalointikanavalla tiedon tulevasta puhelusta, siirtyy GPRS-yhteys "suspend"-tilaan, jolloin kaikki päätelaitteelle tulevat paketit ohjataan SGSN:n puskurimuistiin. Tämän jälkeen päätelaite ottaa piirikytkentäisestä verkon osasta tulevan puhelun vastaan. Kun päätelaite on lopettanut vastaamansa puhelun, hylännyt sen tai soittaja on lopettanut soittoyrityksensä, aktivoituu piirikytkentäinen GPRS-yhteys uudelleen ja SGSN alkaa purkaa puskurissaan olevia paketteja päätelaitteelle. Jos piirikytkentäinen palvelu on käytössä pitkään, saattaa palvelussa siirrettäviä paketteja hukkua sovellustasolla tapahtuviin aikakatkaisuihin.

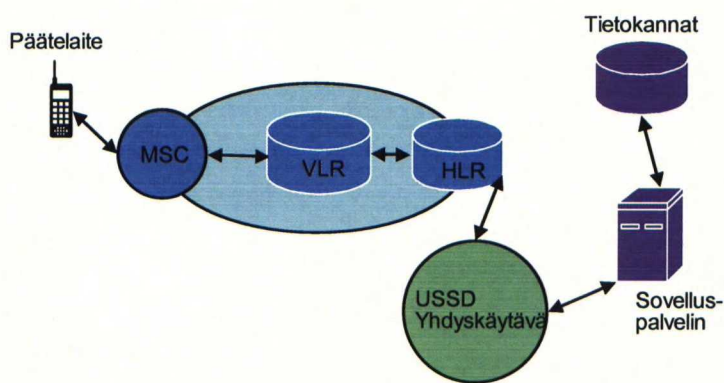
Kuvatun kaltainen toiminta johtaa siihen, että soittamalla päätelaitteeseen voidaan palvelun tavoitettavuus kyseenalaistaa ja järjestelmän rakenteesta riippuen järjestelmän käyttäjä ei välttämättä tiedä onko ohjauskäsky mennyt perille tai onko järjestelmän ilmoittama tilatieto todellinen. Tällä tavoin toteutettu palvelunestohyökkäys on kuitenkin estettävissä poistamalla päätelaitteen GSM-liittymästä esimerkiksi puhepalvelut kokonaan.

7.5.7 USSD

Unstructured Supplementary Service Data on GSM-verkossa toimiva palvelu, joka alunperin kehitettiin uusien mobiilipalveluiden käyttöönoton mahdollistavaksi tekniikaksi

vanhoissa päätelaitteissa, jotka eivät ko. palveluja muuten tue. Ideana on se, että jos päätelaite ei tunnista saamaansa tekstijonoa se käyttää USSD:tä välittääkseen tekstijonon verkkoon eri verkkoelementtien tulkittavaksi. Päätelaite ja verkko voivat vaihtaa USSD-sanomia dialogin kaltaisessa keskustelussa.

USSD-järjestelmän yksinkertaistettu arkkitehtuuri on esitetty kuvassa 7.9. Koska päätelaite voi keskustella suoraan verkon laitteisiin toteutettujen palveluiden kanssa, on palvelut keskeisten verkkoelementtien turhan kuormituksen takia sijoitettava erityisen USSD-välityspalvelimen perään. HLR ohjaa USSD-sanomat suoraan USSD-välityspalvelimelle, joka tulkaa USSD-sanoman ja ohjaa viestin ao. sovelluspalvelimelle, joka tekee viestin edellyttämät toiminnot.



Kuva 7.9. USSD-järjestelmän arkkitehtuuri.

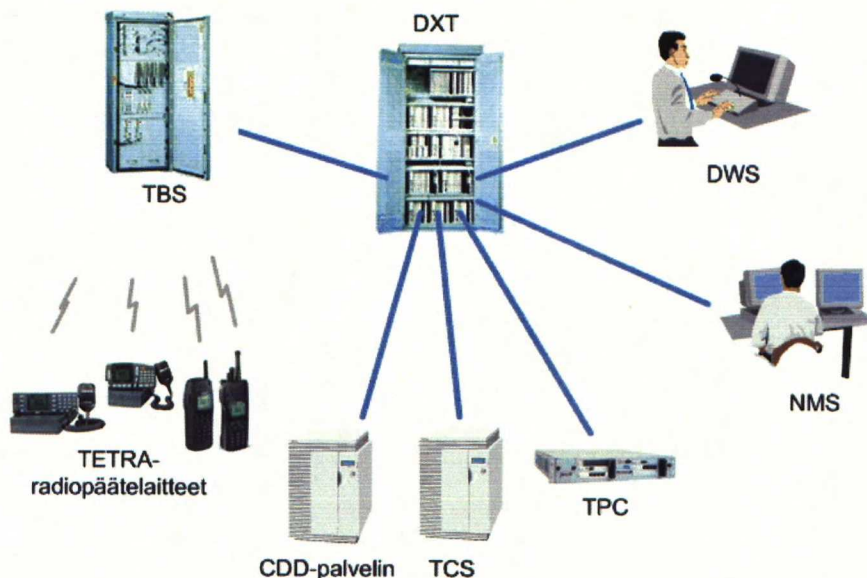
USSD ei ole SMS:n tapaan verkkoon varastoitava ja edelleen toimitettava sanoma, vaan istuntopohjaiseen yhteyteen perustuva viestintämuoto. USSD:n yksinkertaisuuden ansiosta sen nopeus kaksisuuntaisessa sanoman vaihdossa GSM:ään verrattuna on 7-kertainen [Nokia 2001].

Tarton yliopiston ja Radiolinja Eestin Tartoon yhteistyössä kehittämä UV-ohjausjärjestelmä perustuu USSD sanomanvaihtoon. Tarton projektiryhmä uskoo USSD-sanomien kulkevan myös ylikuormitetussa GSM-verkossa, jolloin GPRS tai muut GSM-verkon tiedonsiirtoyhteydet eivät toimisi.

7.5.8 TETRA

TETRA on European Telecommunications Standards Instituten eli ETSIn määrittelemä digitaalinen viranomaisverkkojärjestelmä. Järjestelmä on GSM:n tavoin avoin tekniikaltaan, mutta GSM:stä poiketen käyttäjäkunnaltaan suljettu. Suomessa on tällä hetkellä toiminnassa kaksi Tetra-verkkoa: Suomen Erillisverkkojen operoima VIRVE ja Helsingin Energian HelenNet. Tetra-järjestelmä koostuu yleisellä tasolla samankaltaisista elementeistä kuin GSM-verkko. Järjestelmän ydin on Tetra keskus (DXT), tukiasemat (TBS) toimivat verkon puolen ilmarajapintana ja päätelaitteet

asiakaspäässä. Keskus on yhteydessä pakettiverkon ytimeen (TPC). Ohjelmistorajapintana asiakkaan sovelluksiin toimii rajapintapalvelin (TCS). Verkon ylläpitoa varten keskukseseen on liitetty verkon hallintajärjestelmä NMS. Järjestelmän yksinkertaistettu arkkitehtuuri on esitetty kuvassa 7.10 [Ahonen 2002].



Kuva 7.10. Tetra-järjestelmän yksinkertaistettu arkkitehtuuri [Ahonen 2002].

Tetra soveltuu järjestelmänä puheen sekä pienimuotoisen datan lähetykseen. Erilaisia datan siirtomahdollisuuksia Tetrassa on muutamia: GSM:n tekstiviestiä vastaava SDS (Short Data Services), yhden aikasiivun pakettidata, monen aikasiivun pakettidata ja tulevaisuudessa TEDS (Tetra Enhanced Data Service), joka vastaa GSM-verkon GPRS:ää tai EDGEä (Enhanced Data rate for Gsm Evolution) [Nokia 2004].

Tetran peruspakettidatapalvelu pystyy 7200 bit/s tiedonsiirtonopeuteen, josta sovelluksille jää teholliseksi tiedonsiirtonopeudeksi n. 2500-3500 bit/s [Nokia 2004]. Tämäkin nopeus on riittävä ulkovalaistuksen ohjausjärjestelmälle, joten nopeampia ja kalliimpia tekniikoita ei SDS:n ja yhden aikasiivun pakettidatan lisäksi tarvita normaalin ohjausjärjestelmän toiminnan kannalta. Näiden pakettikytkentäisten datapalvelujen lisäksi Tetrassa on mahdollisuus piirikytkentäiseen tiedonsiirtoon.

Tetran tietoliikenne on salattua ja vain lähettäjä ja vastaanottaja tai vastaanottajat voivat purkaa lähetetyn datan. Tetra mahdollistaa normaalin point-to-point tiedonsiirron lisäksi PTM, eli point-to-multipoint tiedonsiirtoa, jossa sama viesti välitetään useille vastaanottajille. Jokainen päätelaite voi kuulua ryhmään, jolle lähetetään yksi broadcast-paketin kaltainen lyhyt datasanoma eli SDS. Kaikki vastaanottoryhmään kuuluvat päätelaitteet purkavat paketin ja toimivat sen mukaisesti. Sovelluksesta riippuen tämä yksi paketti voi generoida vyöryn paluupaketteja, joissa viestin perille meno kuitataan lähettäjälle. Paluupaketit voivat niin ikään olla Tetran SDS-paketteja,

joiden kulkuaika verkossa kahteen suuntaan on yhden aikajakson pituisena n. 0,7 sekuntia. Toinen mahdollisuus on Tetran status-pakettien hyödyntäminen kuittausviesteissä. Tetran Status-sanomat ovat tavanomaisiin tilatietoihin ja vastaaviin tarkoitettuja sanomia. Status-sanomia on Tetrassa 2¹⁶ kappaletta, mutta näistä sovelluksen käytettävissä on ainoastaan 2¹⁵ kappaletta, muiden ollessa järjestelmän käyttöön varattuja.

7.6 Yhteenveto

Ulkovalaistuksen ohjauskäytössä on käytössä monia tiedonsiirtoteitä. Uusimmat järjestelmät käyttävät usein langattomia siirtoteitä, mikä madaltaa niiden käyttöönottokynnystä. Kaikkia siirtoteitä käyttäminen ei ole UV-verkon topologian vuoksi mielekäästä tai tehokasta, joten siirtoteiden sopivuus on tarkasteltava kunkin UV-organisaation osalta erikseen. Taulukossa 7.1 on esitetty eri tiedonsiirtoteiden sopivuutta Helsingin ulkovalaistuksen ohjaukseen.

Taulukko 7.1. Siirtoteiden soveltuvuus UV-ohjauksiin Helsingissä.

	Soveltuvuus	Huom.
PJ-verkko, VKO	**	Olemassa olevat laitteet. Suuret investoinnit.
Kiinteä tietoliikenneyhteys	*	Kalliit kaivuutyöt, tiedonsiirtokapasiteettia ei saada hyödynnettyä.
Puhelinverkko	*	Kalliit kaivuutyöt, lähes kiinteät kustannukset
Puhelinverkon pakettikytkentäiset järj.	*	Kalliit kaivuutyöt, tiedonsiirtokapasiteettia ei saada hyödynnettyä.
WLAN	*	Edullinen tekniikka, tietoturvallisuus puutteita, maaston vaikutus kuuluvuuteen
Wimax	*	Nuori tekniikka, hyvä kantomatka, kalliit laitteet
DARC / DRM	***	Hyvä kuuluvuus, hyvä käyttövarmuus
VHF- ja UHF	**	Hyvä saatavuus, vanhaa tekniikkaa
GSM-SMS	*	Kankeus primäärsiirtotienä
GPRS	***	Hyvä saatavuus, edulliset laitteet, käyttövarmuus
USSD	**	Saatavuus Suomessa?
TETRA	*	Hyvä käyttövarmuus, kalliit laitteet, yhteyksien hinnoittelu
*** = soveltuu hyvin, ** = soveltuu, * = ei kannattavasti sovellettavissa		

8. OHJAUS- JA SÄÄTÖViestien SIIRTO

Tässä luvussa käsitellään ulkovalaistuksen ohjausjärjestelmän kannalta olennaisia asioita ohjaus- ja säätöviestien siirtoon ja siirron varmuuteen liittyen. Lisäksi käsitellään mitä tietoa ohjaus- ja kuittausviesteissä pitää kulkea ja miten paljon ne vaativat tiedonsiirtokaistaa.

8.1 Luotettavuus

Ulkovalaistuksen toiminnan kannalta ohjauksen tärkein ominaisuus on luotettavuus. Ohjauksen luotettavuus koostuu useista osatekijöistä, joista kukin on tahollaan tärkeä. Luotettavuuden osatekijöitä arvioitaessa mm. seuraaviin kysymyksiin vastaamalla saadaan käsitys järjestelmän toiminnan luotettavuudesta:

- Voidaanko viestin perillemenoon luottaa
- Voidaanko ohjauskomennon antajaan luottaa
- Voidaanko sanoman sisältöön luottaa

Kullekin em. kysymyksistä voidaan antaa vastaus, jolle on jokin peruste. Luotettavuudeltaan hyvä järjestelmä on ominaisuuksiltaan sellainen, että kaikkiin kysymyksiin voidaan vastata kyllä.

Viestin perillemenon luotettavuus vaikuttaa palvelun tavoitettavuuteen. Mikäli palvelun rajapintojen välinen tietoliikenne on epävarmaa tai sitä voidaan häiritä, on sillä vaikutus tähän luotettavuuden osa-alueeseen. Kutakin osa-aluetta on kuitenkin käsiteltävä kokonaisuutena, eikä kysymyksiin voida vastata ilman kokonaisuuden tuntemista.

Olkoon esimerkkinä UV-ohjaus, joka on toteutettu nykyaikaisella B-luokan GPRS-päätelaitteella. Koska B-luokan päätelaitteilla on aiemmin luvussa 7 mainittu ominaisuus, jolla palvelun tavoitettavuuden voi estää pelkällä puhelinsoitolla, voisi nopeasti tehdä johtopäätöksen, ettei tavoitettavuus ole luotettavalla tasolla. Tämä pitää paikkansa kuitenkin vain, mikäli järjestelmässä ei ole varauduttu tämän kaltaiseen palvelunestohyökkäykseen poistamalla liittymästä puhepalvelut. Tällä palveluiden rajaamisella voidaan tavoitettavuutta parantaa ja vähentää uhkia, mutta edelleen jää tavoitettavuuteen vaikuttava tilanne, jossa GSM/GPRS-verkko on ylikuormitettu, eikä ohjausviestejä tästä syystä saada ajallaan perille. Tämän kaltaiseen tilanteeseen voidaan varautua paikallisella varmistusmenettelyllä, joka voi olla esim. hämärätaulukko. Jos ohjausviestiä ei määrättyyn aikaan mennessä tule, suoritetaan ohjaus sillä oletuksella, että primäärsiirtotie on varattu, ruuhkainen tai vikaantunut.

Tällä järjestelyllä viestin perillemeno on varmistettu tai vikaantumismahdollisuus on ainakin huomioitu ja järjestelmän tähän osa-alueeseen voidaan luottaa.

Ohjauskomennon antajana on keskitetyssä ulkovalaistuksen ohjausjärjestelmässä normaalisti valvomo tai jonkin muu lähde, joka antaa ohjauskomennon jonkin herätteen seurauksena. Jos tiedonsiirtotie valvomosta ohjauslaitteelle on selväkielinen ja ulkopuolisten kuunneltavissa, muodostuu ongelma, jossa tietoliikennettä seuraamalla kolmas osapuoli voi saada selville komentosanomien rakenteen ja syöttää verkkoon omien tarkoitusperiensä mukaisia ohjaussanomiam. Tällaisella luvatta päälle ohjaamisella on vaikutus lähinnä energiankulutukseen, mutta ulkovalaistuksen sammuttaminen voi aiheuttaa jopa henkilö- tai omaisuusturvallisuuden heikkenemistä. Sama ongelma on esillä, jos järjestelmähierarkian yläpään laitteet on liitetty julkisiin tietoverkkoihin ilman asianmukaisia palomuurijärjestelyitä tai muita luvattoman käytön estäviä toimenpiteitä. Esim. julkiseen internetiin liitetty valvomon palvelinohjelmisto voi houkutella luvattomia käyttäjiä. Jos luvaton käyttäjä pääsee kuuntelemaan verkkoliikennettä, voi sanomien kulun perusteella tehdä johtopäätöksiä syy-seuraus-suhteesta sanomien välillä, vaikka protokolla olisikin tuntematon tai viestit salattu. Tästä syystä järjestelmän olisi mieluiten salattava tietoliikenne sellaisilla siirtoteillä, joilla kolmannet osapuolet voivat tietoliikennettä kuunnella. Pelkkä salaus ei kuitenkaan välttämättä estä viestien väärin tarkoitusperin injektioimista siirtotielle. Vaikka sanomapakettien sisältö ei olisi luettavissa, mutta täsmälleen samansisältöinen paketti kulkee siirtotiellä joka ilta ja hetki sen jälkeen syttyvät ulkovalot, voi kolmas osapuoli tehdä johtopäätöksen tämän päivittäin toistuvan paketin valot sytyttävästä vaikutuksesta. Kun tämä viesti kopioidaan ja injektoidaan haluttuna ajankohtana siirtotielle, saa kolmas osapuoli kytkettyä ulkovalaistuksen päälle ilman lupaa. Ohjauskomennon antajan varmistamiseksi on salauksen lisäksi parasta käyttää ohjausprotokollassa jonkinlaista aikaleimausta, joka on luonnollisesti sanoman salatun hyötykuorman sisällä. Mikäli aikaleiman mukainen ohjausajankohta on liian paljon menneisyydessä tai se on muuten epänormaali, voidaan ohjaussanoma hylätä.

Siirtotiellä kulkeva sanoma voi muuttua matkalla ympäristöllisistä syistä. Mikäli ohjausperusteena on esimerkiksi vain yksi bitti, voi tämän yhden bitin muuttuminen aiheuttaa ongelmia järjestelmän käytettävyydessä. Siirtotien signaali-kohina-suhde eli S/N-ratio, on merkittävässä osassa siinä, mikä signaalitaso merkitsee loogista 1:tä ja mikä loogista nollaa. Jos bitin tulisi olla 1, mutta häiriön tai ympäristöolosuhteiden takia se tulkitaan nollassi, on vaikutus merkittävä. Sanoman eheyden varmistamiseksi voidaan viesteille laskea tarkistussumma, joka muuttuu yhdenkin bitin kääntyessä. Mikäli hyötykuorman mukana lähetetty tarkistussumma vastaa vastaanottopäässä laskettua tarkistussummaa, voidaan olla riittävän varmoja siitä, että sanoma on ehjä.

8.2 Riskianalyysi

Järjestelmän toiminnan kannalta kaikkia arveluttavia asioita pitää punnita kriittisesti järjestelmän valintaa tehdessä. Kaikkiin luotettavuuteen vaikuttaviin asioihin pitää valintavaiheessa tehdä riskianalyysi. Riskianalyysissä arvioidaan järjestelmään kohdistuvia riskejä eri näkökulmista ja samalla tutkitaan niiden aiheuttamien ongelmien vakavuus, todennäköisyys sekä niiden aiheuttamat kustannukset. Riskianalyysin laatimisen yhteydessä kerätyn tiedon perusteella voidaan tehdä laskelma miten kunkin uhan torjuntaan pitää panostaa. Investointi uhkan torjumiseksi on kannattava, jos turvaamisesta aiheutuvat kulut ovat pienemmät kuin riskin todennäköisyyden ja sen toteutuessaan aiheuttamien kustannusten tulo esim. vuositasolla tarkasteltuna.

8.3 Käyttövarmuus

Siirtotie vaikuttaa järjestelmän käyttövarmuuteen yksittäisenä osatekijänä kaikkein eniten. Mikäli ohjausviestejä ei saada siirrettyä perille, ei ohjausta tapahdu ilman varajärjestelmää. Luonnollinen tapa saada valvomotasolle varmuus siitä, että ohjaus- tai säätökomento on vastaanotettu ja suoritettu, on lähettää komennon antajalle kuittaus komennon toteutuksesta. Toisaalta, vaikka valvomo ei kuittausta saisikaan, se ei automaattisesti tarkoita sitä ettei ala-keskus olisi komentoa saanut ja toteuttanut, sillä myös kuittaussanoma voi kadota tai yhteys katketa komennon vastaanottamisen ja kuittauksen lähettämisen välissä. Paras tilanne onkin, jos alakeskustasolla on paikallinen varmistus ohjauksen tekemiselle tai säätöportaan valinnalle, sillä silloin alakeskusten toiminta ei ole pelkän tiedonsiirtotien varassa. Kaksisuuntainen tiedonsiirto ja kuittausmenettely ei siis tuo välttämättä lisäarvoa parantuneena palvelun käyttövarmuutena, mutta sen sijaan se auttaa ulkovalaistusverkon tilan seurannassa ja tilastojen keräämisessä. Jos järjestelmää valittaessa päädytään ratkaisuun, jossa paluukanavaa ei ole lainkaan, eli esimerkiksi perinteiseen VKO-järjestelmään tai DARC-kanavaa hyödyntävään järjestelmään, kannattaa kuitenkin ohjaus- tai säätökomentoja toistaa muutamia kertoja onnistuneen vastaanoton todennäköisyyden lisäämiseksi. Käskyjen toistaminen on kuittausmenetelmällä toteutetussakin kaksisuuntaisessa järjestelmässä aiheellista, mikäli ala-aseman kuittausviestiä ei kuulu järkevässä aikaikkunassa.

8.4 Luottamuksellisuus

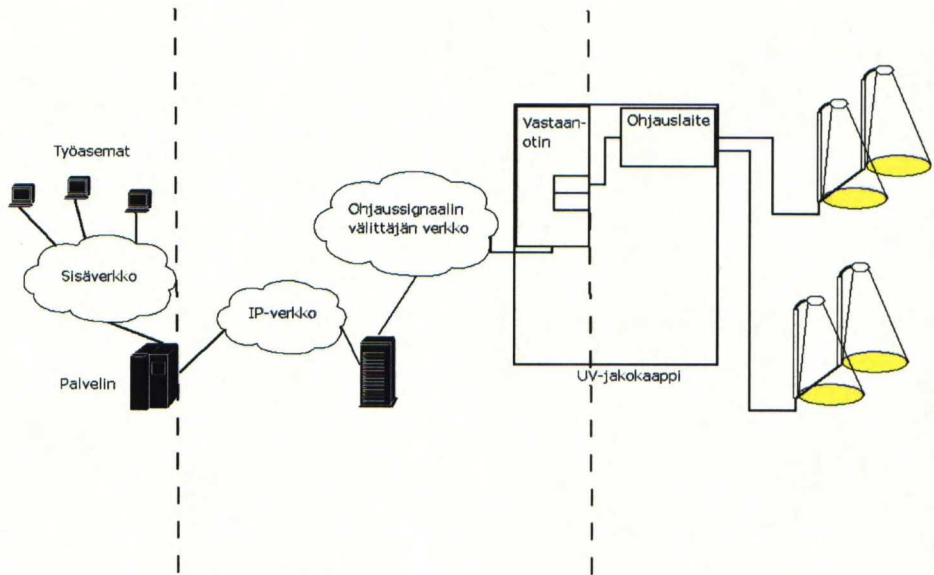
Yleensä ulkovalaistuksen ohjausjärjestelmien tiedonsiirto ei ole salattua, joten sen salakuuntelu on mahdollista, mikäli ulkopuoliset pääsevät käsiksi siirtotielle. Pelkkä sovelluskohtainen ja dokumentoimaton protokolla ei riitä luottamuksellisuuden turvaamiseksi, vaan tiedonsiirrossa on käytettävä sopivia autentikointi- ja

salausmenettelyjä, mikäli siirtotie on kaikkien ulottuvilla. Kuitenkaan UV-ohjausjärjestelmät eivät tavallisesti tue suoraan salausta tai autentikointia, joten salaamattomien järjestelmien osalta pitäisi turvautua erillisten laitteiden avulla tapahtuvaan tunnelointiin. Ratkaisu nostaa kuitenkin järjestelmän ala-keskuskohtaista yksikköhintaa, ja se saattaa vaikuttaa hankinnan kannattavuuteen. GSM- ja GPRS-tekniikoita käyttävät järjestelmät saavuttavat tässä osa-alueessa edun, sillä valittu tiedonsiirtotapa tarjoaa itsessään jo perusominaisuutena päätelaitekohtaisen autentikoinnin ja ilmatiellä tapahtuvan salauksen. Valmistajien tietojen mukaisesti olemassa olevista järjestelmistä vain kanadalaisen CristalControlsin ja norjalaisen Kongsberg Analogicin Candelon järjestelmien PLC-tiedonsiirto on salattua. Candelonissa salaus on DES tai 3DES algoritmilla toteutettua, mutta CrystalControlsin järjestelmältä tätä ei ilmoiteta. Lisäksi Royce Thompsonin radiosiirtotiellä käyttämä ZigBee-protokolla ainakin mahdollistaa tehokkaan AES-salauksen (Advanced Encryption System) [Wikipedia 2006].

8.5 Sanoman siirron vastuu

Lähes aina sanoman siirtoon valvomotasolta ala-asemille tarvitaan kolmannen osapuolen hallinnoimia tiedonsiirtoverkkoja. Käytettävästä tiedonsiirtoteknologiasta riippuen kannattaakin arvioida onko ulkovalaistuksen ohjauksen kannalta tarpeellista ylläpitää tiedonsiirtolaitteita ja investoida niihin, vai onnistuisiko tiedonsiirtolaitteiden ja -liittymien ostamisen sijaan ohjaussanoman välityksen ostaminen.

Tässä konseptissa tiedonsiirtokanavaa hallinnoiva taho ylläpitäisi myös ulkovalaistuksen jakokaapissa olevaa vastaanotinlaitteistoa. Näin ulkovalaistusorganisaation tarvitsee vain toimittaa ohjaus- tai säätötiedot esimerkiksi IP-verkkoja pitkin tiedonsiirto-organisaatiolle ja ottaa ohjaus- tai säätöviestit vastaan jakokaapissa olevan vastaanottimen liittimiltä. Tiedonsiirrosta vastaava organisaatio valitsee käyttämänsä tiedonsiirtotavan, eikä UV-organisaation tarvitse välttämättä edes tietää mikä on käytetty tiedonvälitystekniikka. Vastuurajojen jako voi tapahtua esim. kuvan 8.1 esittämällä tavalla.

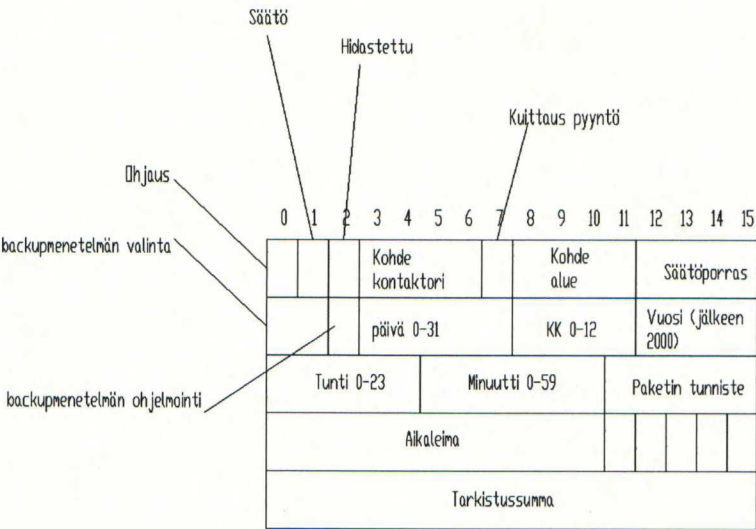


Kuva 8.1. Ohjausverkon rakenne UV-organisaation ja tietoliikenne operaattorin välillä.

8.6 Siirtomäärät

Eri ohjaus- tai säätöjärjestelmien tiedonsiirtomäärät vaihtelevat paljon. Tiedonsiirtomäärään vaikuttaa mm. se lähetetäänkö valvomon ja ala-asemien välillä status-sanomia jatkuvasti auki olevalla yhteydellä, vai solmitaanko yhteys uudelleen aina kun jompikumpi osapuolista haluaa liikennöidä. Ohjaustarkoituksiin tarvittava tiedonsiirtomäärä on yksikkötasolla pieni, sillä välttämättömiä tietoja on vain tehtävä toimenpide ja ryhmä, johon toimenpide kohdistuu.

Ohjaus- ja kuittaustarkoituksiin käytetyn protokollan kehysrakenne voisi olla esim. seuraavan kaltainen:



Kuva 8.2. Eräs mahdollinen ohjaussanoman rakenne.

Kymmenellä tavulla eli yhteensä 80 bitillä voidaan hoitaa jo kohtalaisen kehittyneitä ohjausjärjestelmiä. Sama kehysrakenne sopii sekä ohjaamiseen että vastaanottimien

ohjelmoimiseen. Tämä paketti lähetettynä broadcast-tyylisesti koko alueelle, voi esimerkiksi sytyttää kaikki valot tai unicast-tyylillä lähetettynä sillä voi ohjelmoida tietyn ohjausyksikön hämärätaulukkoa halutulle päivälle.

Esimerkin kehyksen bittien merkitykset:

Bitti 0 asetettuna tarkoittaa paketin sisältävän ohjauskomennon.

Bitti 1 asetettuna tarkoittaa paketin sisältävän säätöportaan asetuskomennon.

Bitti 2 asetettuna ilmoittaa vastaanottavalle ala-asemalle, että ennen ohjausta on arvottava viive (0-120 sekuntia) ja odotettava vastaava aika.

Bitit 3-6 sisältävät tiedon ohjattavista kontakteista. 4 bitillä voidaan ohjata esimerkiksi neljää kontaktoria toisistaan riippumattomasti päälle tai pois.

Bitti 7 sisältää tiedon haluaako sanoman lähettäjä kuittauksen sanoman vastaanottamisesta

Bitit 8-11 sisältävät tiedon kohdealueesta yleislähetyksessä. Yhdellä paketilla voidaan siis ohjata esim. kaikki pohjoisen ja itäisen alueen keskukset päälle tai pois.

Bitit 12-15 sisältävät tiedon halutusta säätöportaasta, joita voi siis olla yhteensä 16 kpl.

Bitit 16-17 asettavat vastaanottavan ala-aseman varmistusmenetelmän. Esim. 00 ei varmistusta, 01 = Hämrätaulukko, 10 = edellisen päivän ohjaus, 11 = erillinen ohjauskosketin.

Bitti 18 asettaa ala-aseman varmistusmenetelmän muutoksen koskemaan bittien 19-31 mukaista ajankohtaa (esim. Hämrätaulukon ohjelmoimiseksi).

Bitit 32-42 sisältävät tiedon ohjelmoitavasta kellonajasta

Bitit 43-47 sisältävät ohjelmointipaketin juoksevan numeron

Bitit 48-58 sisältävät paketin aikaleiman

Bitit 59-63 sisältävät vapaita lippuja lisätoiminnallisuuksia varten, kuten mittautustietojen kysely ym.

Bitit 64-79 sisältävät 16 bittisen tarkistussumman

Samaa pakettia voidaan käyttää ala-aseman tunnistamiseksi ja sen verkkoyhteyden todentamiseksi. Näitä paketteja, joita ei käytetä ohjaustarkoituksiin, pitää lähettää säännöllisesti, jotta valvomossa saadaan pidettyä ajantasaista tietoa ala-asemista, jotka on kulloinkin tavoitettavissa. Esimerkiksi tanskalainen Amplex-järjestelmä lähettää AYT-paketteja (Are You There) minuutin välein. 80 bitin paketilla sovellustason

hyötykuorman määrä olisi vuorokaudessa siis n. 15 kilotavua, mikäli AYT-viesteinä käytettäisiin ohjauspakettia. Tämä lisäksi tarvitaan alempien kerrosten kehykset, kuten TCP- ja IP-kerroksien kehysrakenteet.

Jos siirrossa käytetään TCP:tä, on kokonaispaketin koko hieman suurempi kuin UDP:ta käytettäessä. TCP:n ja IP:n otsikkotiedot ovat yhteensä 384 bittiä pakettia kohti, joten siirrettävän datan kokonaismäärä linkkitasolla on kasvanut 464 bittiin, vaikka sovelluksen hyötykuorma on vain 80 bittiä. Tiedonsiirtomäärä on silti vielä pieni, ja se olisi vaivatta radiomodeemin tai GPRS:n siirrettävissä, joten nopeampia tiedonsiirtoyhteyksiä ei ala-asemille tarvita.

Valvomotasolla, jossa kaikki ala-asemien yhteydet ovat koottuna, kertyy yhden alaseaman kaistan tarve ala-asemien lukumäärällä. Hetkellinen tarve tiedonsiirrolle massalähetyksien aikana, kuten valojen sytyttämis- ja sammuttamisajankohtina, voi siis olla satoja kilotavuja lyhyen aikavälin sisällä. Yhden paketin lähetykseen kuluva aika on valvomon tiedonsiirtoyhteyden nopeudesta riippuva, joten esim. 56 kbit/s nopeudella yhden paketin lähetys kestää n. 10 ms ja 512 kbit/s nopeudella alle 1 ms.

Kuvassa 8.2 esitetty protokolla antaa mahdollisuuksia monenlaiseen käyttöön. Jos protokollaa käytetään siten, että kullekin ala-asemalle lähetetään kaikkien ohjauspisteiden ohjaukset erillisinä, itsenäisinä paketteina, kasvaa liikennemäärä vastaavasti. Esim. neljän erillisen paketin lähettäminen ala-asemaa kohti voi hitaalla valvomon tiedonsiirtoyhteydellä johtaa Helsingin ulkovalaistusverkon ohjauksessa minuutteja kestävään viiveeseen ensimmäisen ja viimeisen paketin välissä. Lähetettävien pakettien määrän lisäksi tarvittavan kaistan leveyttä arvioidessa on huomioitava paluupakettien määrä. Jos ala-asemilta halutaan kuittaukset, on laskevan ja nousevan liikenteen määrät likipitään yhtä suuret, mikäli paluupaketit käyttävät samaa sanomarakennetta ja viestintä toteutetaan unicastina.

Kuittauksien odottamiseen käytettävä aika on optimointikysymys. Jos kuittauksia ei odoteta tarpeeksi pitkään, saattaa eteen tulla tilanne, jossa ala-asema on lähettänyt kuittauksen, mutta se on muiden kuittauspakettien aiheuttamassa ruuhkassa, jolloin valvomo toteaa yhteyden ko. ala-asemalle katkenneeksi tai paketin hukkuneeksi. Tällöin lähetetään normaalisti uusi ohjauspaketti ja tältä pyydetään kuittaus, jolloin seurauksena saattaa olla hitaasti purkautuva ruuhkatilanne. Ilman satunnaisen odottamisen lippua (bitti 2) voidaan päätyä tilanteeseen, jossa verkko synkronoituu ja kaikki ala-asemat yrittävät lähettää kuittauspakettinsa samanaikaisesti, eikä valvomo ehdi niitä tarpeeksi nopeasti käsittelemään. Tällaisessa tilanteessa valvomo luulee, ettei ala-asema ole saanut pakettia, sillä se ei saa kuittausta määrättyssä aikavälissä.

Siirtobudjettia laskettaessa voidaan helposti päätyä pitämään yhtä täysmittaista IP-pakettia lähetetyn paketin yksikkökokona, jolloin varaudutaan linkkivälin käyttöön myös muuhun tarkoitukseen, kuten ala-asemien päivityksiin ym. Tällöin yhden paketin koko on noin 1500 tavua eli n. 12000 bittiä. Minuutin pakettivälillä tämä johtaisi yhden ala-aseman osalta kuukaudessa noin 65 megatavun siirtomäärään, eli valvomon osalta Helsingin kokoisessa kaupungissa jopa yli 110 gigatavun siirtomäärään kuukaudessa. Valvomon liikennemäärä kertaantuu nopeasti ala-asemien lukumäärän mukaan, ellei verkkorakennetta pystytä rakentamaan sellaiseksi, joka mahdollistaa yleislähettykset. Sanomanvaihdon tapahtuessa unicast-paketteina täytyy valvomon tiedonsiirtomäärää rajoittaa käyttämällä hyvin optimoitua sanomarakennetta, eikä varautua tulevaan paketin kokoa kasvattamalla kuten aiemmassa esimerkissä. Sama pakettimäärä aiemmin esitetyllä 80 bitin hyötykuormalla lisättynä alempien protokollien otsikkotiedoilla tuottaisi minuutin lähetysvälillä alle kolme megatavua liikennettä kuukaudessa ala-asemaa kohti. Valvomolle tämä merkitsee 1700 ala-asemalla reilun neljän gigatavun liikennettä kuukausitasolla. Esimerkkilaskelman tapauksessa valvomon tietoliikenneyhteydeksi soveltuu parhaiten symmetrinen 2,2 Mbit/s tai 4,4 Mbit/s yhteys, jolloin kapasiteettiä on riittävästi hoitamaan kaikkien ala-asemien liikennettä.

Esitetty sanomatyyppi ei sovellu yleislähettyksiin, jos vaatimuksena on ohjata yksilöllisesti ulkovalaistuskeskuksia. Tällöin jokaiselle ala-asemalle on annettava yksilöllinen tunnus ja tämän kenttä on lisättävä kehysrakenteeseen. Kahden tavun eli 16 bitin kenttä kattaisi 65535 yksilöllistä osoitetta, joten järjestelmä olisi osoitteiden puolesta riittävän joustava suureenkin kaupunkiin. Sanoman pituus otsikkorakenteineen kasvaa tällä ratkaisulla 500 bittiin. 500 bitin läpimenoaika esim. DARC –siirtotiellä 16kbit/s nopeudella on n. 31 ms. Yksilöllisen ohjaussanoman lähettäminen yleislähettyksenä 1700 ala-asemalle kestäisi siis noin minuutin.

8.7 Yhteenveto

UV-ohjauksen vaatiman tiedonsiirron kapasiteettitarpeen määrittelee käytettävä protokolla sekä käytäntö, jolla ala-asemia pyydetään ilmoittamaan olemassaolonsa. Siirtotien valinta on siten tehtävä valitun liikennöintikäytännön edellyttämän tiedonsiirtotarpeen mukaisesti niin, että siirtotiellä on kapasiteettiä välittää sanomat eri osapuolten välillä ruuhkautumatta. Selväkieliset tekstipohjaiset sanomarakenteet tuhlavat tiedonsiirtokapasiteettia ja binäärimuotoisilla protokollilla saadaan sama sanoma puristettua pienempään määrään bittejä. Erityisesti tästä on hyötyä, mikäli tiedonsiirrosta laskutetaan liikennemäärän mukaan. Kuljetettava tieto on syytä salata mahdollisten väärinkäytösten estämiseksi.

9. ULKOVALAISTUKSEN OHJAUS- JA SÄÄTÖJÄRJESTELMIEN LISÄOMINAISUUDET

Normaalin ohjaustoimintojen lisäksi ulkovalaistuksen ohjausjärjestelmään voidaan kytkeä toiminnallisuuksia, jotka parantavat järjestelmän tehokkuutta tai lisäävät siihen pienillä panostuksilla ominaisuuksia. Näitä ominaisuuksia on kerätty eri järjestelmätoimittajien laitteista ja niitä on ideoitu käytyjen keskustelujen pohjalta ilmitulleiden tarpeiden mukaan.

Tässä luvussa esitellään mahdollisia ominaisuuksia ja lisäarvoa tuottavia palveluita, joita uusittavaan ulkovalaistuksen ohjausjärjestelmään voitaisiin integroida.

9.1 Energiankulutustietojen siirto

Ulkovalaistusliittymän kuluttaman sähköenergian mittaaminen on verkko-organisaation vastuulla, mutta itse mittaamalla sähköenergiaa voidaan saatuja tuloksia käyttää esimerkiksi kunnossapidon apuvälineenä.

Liittymän tai yksittäisen valaistusryhmän virta mitataan heti lamppujen kausivaihdon jälkeen. Tätä referenssivirtaa voidaan käyttää vertailukohtana myöhemmin mitattavalle virralle ja näiden kahden virta-arvon poiketessa toisistaan erikseen määriteltävällä tavalla, voidaan tehdä johtopäätös kaapeliviasta, sulakkeen palamisesta tai useista pimeistä lampuista.

9.1.1 Kaapelivaurio ja sulakkeiden toiminta

Kaapelivaurio tai sulakkeiden toiminta aiheuttaa tavallisesti useiden valopisteiden tehon poistumisen verkosta samanaikaisesti, joten näiden tapahtumien havaitseminen UV-kaapelissa kulkevan virran mittaamisen avulla on mahdollista. Vikojen havaitsemista varten mitatun virran käsittely tehdään kahdella eri tavalla. Kun valaistus sytytetään normaalisti, verrataan valovirran stabiloitumisajan jälkeen kaapelissa kulkevaa virtaa viimeisiin virta-arvoihin, jotka mitattiin ennen ryhmän sammutusta. Tällä tavoin voidaan tehdä johtopäätös mahdollisista vioista, jotka ovat sattuneet ulkovalaistuksen ollessa pois päältä valoisana aikana. Ulkovalaistuksen toimiessa pimeään aikaan, seurataan ryhmän verkosta ottamaa tehoa ja tehokäyrän muuttuessa kerralla enemmän, voidaan tehdä johtopäätös viasta. Tehokäyrän derivaatan perusteella tehtävä kaapelivaurion tai sulakkeen palamisen havaitseminen edellyttää raja-arvojen kokeellista asettelua, sillä UV-verkot ovat hyvin erilaisia ja niihin kytketyt kuormat poikkeavat toisistaan paljon. Kaikkialla tätä ei voi edes soveltaa, sillä esim. toiminnassa olevan tehokkaan heittimen vaikutus ko. ryhmässä saattaa olla niin suuri, että yhden tehokkaan valonlähteen luonnollisen polttoikänsä lopussa tapahtuva

sammuminen aiheuttaisi kaapelivaurio- tai sulakkeen toimintadiagnoosin. Tarkastelu voidaan tehdä ryhmätasolla, kuten Syspeon PLT-4 -järjestelmässä, tai yhdistettynä esim. jakokaappitasolla. Ryhmäkohtainen tarkastelu edellyttää ryhmäkohtaisia mittausjärjestelyjä, joten tilantarve UV-kaapissa on merkittävästi suurempi kuin mitattaessa jännitteen ja virran parametreja jakokaappitasolla. [Syspeo 2005] Jakokaappitasolla mitattaessa menetetään kuitenkin yksittäisten vikojen havaitsemisessa tarvittavaa herkkyyttä, mutta sulakkeen palamisen tai kaapelivaurion havaitsemiseksi tarkkuus on riittävä. Kun havainto viasta saadaan, tiedetään jakokaappi, jonka alueella vika on, ja paikallisesti palaneen sulakkeen perusteella saadaan tietoon vikaantunut ryhmä. Toiminnan voi myös rakentaa alijännitereleillä tai muilla relejärjestelyillä, joilla seurataan päävirtapiirin jännitettä. Tämä ratkaisumalli edellyttää kuitenkin ryhmiä vastaavan määrän digitaalisia sisääntuloja ohjauslaitteelle.

Kehittyneemmillä järjestelmillä, joissa käytetään valaisinkohtaisia ohjauslaitteita, on yksittäisen lampun ottaman tehon seuraaminen triviaalia. Tästä syystä kaapelivauriodiagnoosikin on tämän tyyppisillä laitteilla huomattavasti helpompaa.

Väärin hälytysten takia ryhmään kohdistuvat suunnitellut muutokset tulee jollain tapaa tuoda järjestelmän tietoon. Jos alueella tapahtuvia UV-töitä ei järjestelmässä huomioitaisi, tulisi tilanne eteen, jossa jakorajan muutos aiheuttaisi yhden kaapelivauriohälytyksen ja vastaavasti lisäisi toiseen ryhmään kynnystä suorittaa hälytys.

9.1.2 Ryhmävaihdon dynaaminen ajoitus

Vastaavalla tavalla kuin verkosta voidaan diagnosoida kaapelivaurioita, voidaan tehdä myös seuranta ryhmävaihtojen dynaamista ajoittamista varten. Ryhmä- tai keskuskohtaisen teho- tai virtatrendin mukaan voidaan hienosäätää ryhmävaihdon ajankohtaa tarpeen mukaan. Kun tehotrendiä seurataan riittävän tarkasti, voidaan tehdä kohtuullisen tarkka arvio kuolleista valonlähteistä. Kuolleiden valopisteiden lukumäärän perusteella voidaan ryhmävaihdon ajankohtaa esimerkiksi aikaistaa ko. alueella. Tämä edellyttää kuitenkin käytettyjen lamppujen toiminta-arvojen muuttumisen tuntemista ajan kuluessa riittävän tarkasti.

9.2 Jakokaappien ilkeilytöiden poistaminen

Ulkovalaistus on merkittävässä osassa pimeän ajan kaupunkikuvaa. Jos ulkovalaistus ilkeilytöiden poistamiseksi sammutetaan esimerkiksi vahingoittamalla jakokaappia tai murtautumalla siihen, syntyy pimeä alue, joka voi olla henkilö- ja omaisuusturvallisuuden kannalta riski. Lisäksi UV-kaapeissa on hengenvaarallisia sähkölaitteita. Jos ulkovalaistuksen ohjausjärjestelmässä on paluukanava ja siihen on mahdollisuus liittää ulkoisia

kosketintietoja, voidaan jakokaapit varustaa ilkivaltahälytyksellä. Ilkivaltahälytys voi olla kaksiosainen, jossa ovea valvotaan mikrokytkimellä ja muuta ilkivaltaa inerttiakytkimellä, joka reagoi esim. jos jakokaappia kolhitaan autolla. Koska jakokaapin kolhiminen saattaa aiheuttaa sen vääntymisen niin, että ovirakenteet aukeavat, voi harmittomalta tuntuvalta työtäisyydellä olla laajemmat vaikutukset, jos se aiheuttaa ulkopuolisten pääsyn sähkölaitteistoon. Ilkivaltailmoitus voidaan johtaa kunnossapitohenkilöstölle tai tarpeen mukaan esim. vartiointiliikkeelle. Tämä ominaisuus on käytettävissä kaikissa järjestelmissä, joissa kosketintiedon perusteella voidaan tehdä hälytys valvomoon.

9.3 Liikennemäärät

Monilla katualueilla seurataan liikennemääriä eri tarkoituksiin. Induktiosilmukoilta tulevaa tietoa ajoneuvojen lukumäärässä voidaan käyttää hyödyksi esimerkiksi valaistustason säädössä. Jos ohjausjärjestelmässä on sisääntulo, johon induktiosilmukalta tulevan syötteen voi kytkeä, voidaan liikennemäärätietoa käyttää valaistuksen säädön lisäksi muihin tarkoituksiin.

9.4 Valaistusolosuhteet

Ulkovalaistuksen ohjausjärjestelmän tiedonsiirtokanavaa voidaan käyttää myös valaistus- ja sääolosuhteiden tilastointiin. Jos valaistuksen ohjausjärjestelmään saadaan liitettyä luminanssi- tai valaistusvoimakkuusanturi, voidaan ko. kadun valaistusolosuhteista tehdä tilastoa ja tätä voidaan hyödyntää esim. alueiden yleissuunnitelmia tehdessä. Liikennemäärien ja valaistusolosuhteiden tilastoitua tietoa voidaan myöhemmin yhdistellä muuhun tilastomateriaaliin, ja tehdä esim. tutkimuksia valaistuksen korrelaatiosta onnettomuuksiin tai rikollisuuteen.

Valaistusolosuhteita seuraamalla voidaan myös tehdä paikallisesti yksilöity hämärätaulukko, jonka syttymis- ja sammumisajankohdat on määritetty ko. kohteessa vallinneiden olosuhteiden mukaisesti. Yksilöllisellä hämärätaulukolla voidaan esimerkiksi huomioida kaupungin katukuilujen aikaisempi hämärtyminen.

9.5 Vikailmoitukset

Ohjausyksikkö voi digitaalisten sisääntulojen tilatietojen perusteella ilmoittaa järjestelmälle toiminnallisista vioista. Eräs tapa on esim. ryhmien ohjauskontaktorien kosketintiedot, jotka kertovat ovatko kontaktorit vetäneinä vai eivät. Jos indikointi kertoo että ohjausta ei ole suoritettu, mutta sen pitäisi järjestelmän mukaan olla, voidaan tehdä ristiriitahälytys. Ristiriitahälytyksen syynä voi olla esim. kontaktorin vikaantuminen, ohjauspiirin vika tai ohjausyksikön releen rikkoutuminen. Yhdellä

kosketintiedolla voidaan tehdä helppoa ja varmaa vikaseurantaa nopeasti, mutta tiedon saaminen edellyttää laitteelta sisääntulojen lukumäärän lisäämistä vastaavasti.

Jos ohjausjärjestelmän kentällä sijaitseva ohjausyksikkö on akkuvarmennettu, voidaan esimerkiksi valaistuskeskuksen syöttökaapeliviasta tai pääsulakkeiden toiminnasta saada vikahälytys.

Valaisinkohtaisen ohjausjärjestelmän keräämien tietojen perusteella voidaan lampunvaihdot ym. normaalit huoltotoimenpiteet tilata kunnossapitourakoitsijalta automaattisesti esimerkiksi jos kaksi vierekkäistä lamppua on palanut tai palanut lamppu sijaitsee suojatien yhteydessä tai risteysalueella.

Elektronisilla liitäntälaitteilla toteutetut järjestelmät mahdollistavat valaisimen sähkötekniisen toiminnan seuraamisen useita eri parametreja tarkkailemalla. Vikadiagnostiikkaa voidaan tehdä monipuolisesti ja ennakoivasti toiminta-arvojen mittausten perusteella.

10. YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

10.1 Siirtotie

Ohjaussignaalin siirtotie vaikuttaa olennaisesti ulkovalaistuksen ohjausjärjestelmän luotettavuuteen, joka on yksi järjestelmän tärkeimmistä ominaisuuksista. Monet nykyaikaiset tiedonsiirtotiet pystyvät siirtämään tietoa kahteen suuntaan ja käytettävissä runsaasti erilaisia teknisiä ratkaisumalleja tiedonsiirtotien toteuttamiseksi ohjausjärjestelmälle.

Helsingin ulkovalaistusverkon ohjauksessa siirtotien luotettavuus sekä kaksisuuntaisuus ovat merkittävimmät ominaisuudet. Luotettavuutta siirtotielle saadaan yhdistämällä kaksi toisistaan erillistä siirtotietä ja kun vähintään toinen valituista siirtoteistä sisältää paluukanavan, voidaan ohjausherätteiden olettaa kulkevan riittävän luotettavasti ala-asemille päin ja toisaalta vähemmän tärkeä paluuliikenne ala-asemilta valvomon suuntaan voidaan normaalisti välittää ongelmitta.

GSM-verkossa toimiva GPRS-yhteys toimii kahteen suuntaan, ja pystyy näin palauttamaan tarvittavat kuittaus- ja tilatietopaketit valvomolle. Varayhteytenä ala-asemille toimii yksisuuntainen DARC- tai DRM-yhteys, joka on myös langaton siirtotievalinta.

Langattomat siirtotiet ovat nykyisen verkon yhteyteen paras valinta, sillä laajan kaapeliverkon kaivaminen tuottaa kustannuksia ja toisaalta PJ-verkon tiedonsiirto-ominaisuudet ovat rajalliset. Lisäksi erilaisten sähköverkkotiedonsiirtojärjestelmien laitteet hierarkian yläpäässä ovat verrattain kalliita, joten valmiita langattomia verkkorakenteita hyödyntämällä säästetään investoinnin alkuvaiheessa.

10.2 Ohjauslaite

Ohjauslaitteeksi ulkovalaistuksen ohjausjärjestelmään sopii monet erityyppiset laitteet. Varta vasten UV-ohjauksiin tehdyt ohjauslaitteet, yhdistetyt energianmittaus- ja kuorman ohjauslaitteet sekä ohjelmoitavat logiikat ovat näistä yleisimmät.

Ohjauslaitteen ominaisuuksista merkittävimmät ovat tietoliikennerajapintojen yhteensopivuus siirtotien kanssa, riittävä määrä ohjauslähtöjä sekä laitteen sisäisen ohjelmoinnin mahdollisuus.

Tärkeätä on huomioida myös ohjauslaitteen toimintalämpötila ja kotelointiluokka. Useiden ohjausyksiköiden toimintalämpötilan alaraja vain 0° C, joten laite pitää koteloida ja tämä kotelo lämmittää erillisellä lämmityselementillä.

Helsingin UV-verkkoon paras ratkaisu on käyttää ohjelmoitavia logiikoita, sillä niiden osalta laajennettavuus ja I/O –pisteiden lukumäärä ovat vapaasti määriteltävissä. Ohjelmoitavia logiikoita käytettäessä voidaan myös varmistua siitä, että ohjelmistorajapinnat ovat avoimia ja järjestelmään voidaan liittää myöhemmin määriteltäviä laitteita, kuten esimerkiksi energian mittareita.

10.3 Esimerkkisuunnitelma

Jatkotoimenpiteenä esitetään tehtäväksi pilottiasennus, jossa edellä määritellyn mukainen järjestelmän toimintaa testataan käytännön olosuhteissa. Pilottivaiheen laajuus on korkeintaan noin 10 jakokaappia eli n. 300-500 valopistettä. Myöhemmin mahdollisesti toteuttavaksi tarkoitettu saneeraus kattaa n. 80 000 valopistettä ja 1700 jakokaappia.

Esimerkkisuunnitelma on laadittu varmuusnäkökulma priorisoiden, joten tiedonsiirtoyhteydeksi testattavaan ympäristöön on valittu DARC tai tulevaisuudessa DRM. Kaksisuuntaisen tiedonsiirron mahdollistava GSM-pääte toimii paluukanavan rajapintana alakeskuksilta valvomolle.

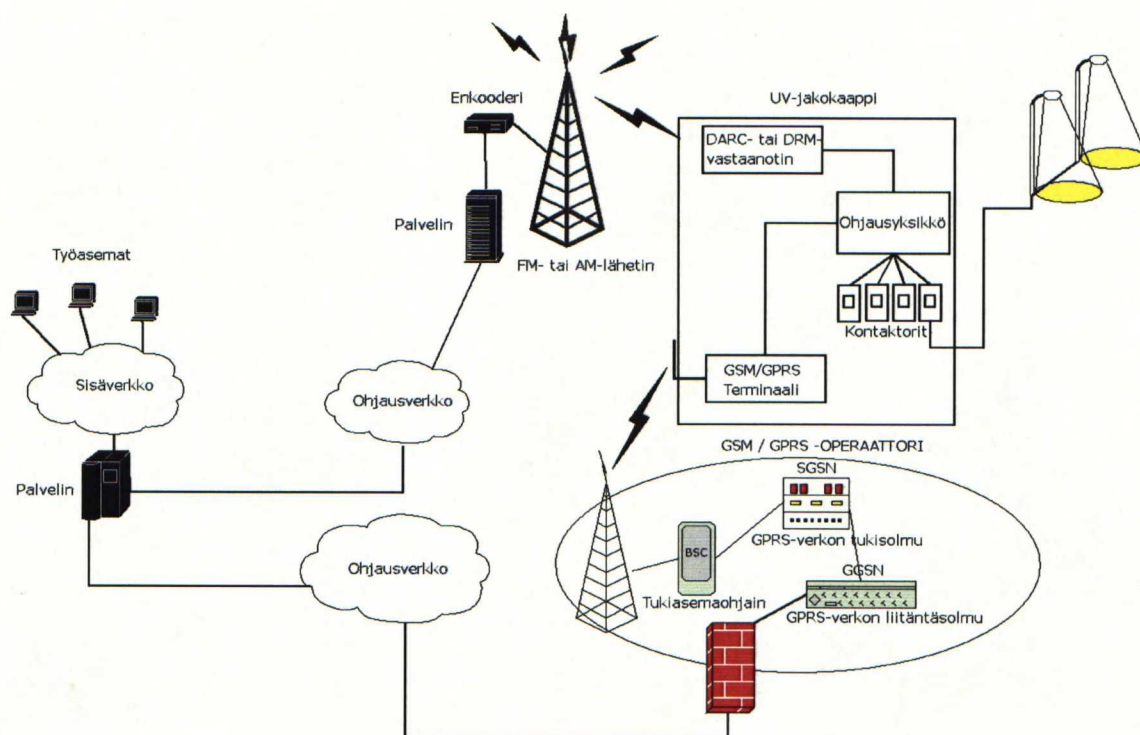
Esimerkkisuunnitelmassa on käytetty vapaasti ohjelmoitavaa logiikkaa, joiden valmistajia ovat mm. Unitronics, Schneider ja General Electric.

Järjestelmän ala-aseman komponentit asennetaan olemassa oleviin jakokaappeihin liitteen 1 mukaisesti. Uudet jakokaapit varustetaan liitteen 2 mukaisella kytkennällä.

Valitulla toteutustavalla ulkovalaistuksen ohjausjärjestelmän rakenne on esitetty kuvassa 10.1.

Nykyisin käytössä oleva ja kuvassa 10.1 esitetty järjestelmä toimivat eri siirtoteillä, joten järjestelmien rinnankäyttö on vaivatonta. Järjestelmän rakenne mahdollistaa myös kumman tahansa siirtotien poistamisen tai korvaamisen, jolloin tiedonsiirtoon jää seuraavat mahdollisuudet:

- Yksisuuntainen tiedonsiirto, siirtotienä DARC / DRM
- Yksi- tai kaksisuuntainen tiedonsiirto, siirtotienä GPRS



Kuva 10.1. Kahdennetun siirtotien mukainen ulkovalaistuksen ohjausjärjestelmä.

Kuvattu järjestelmä toimii useimpien ulkovalaistuksen ohjausjärjestelmien kanssa, mikäli tiedonsiirtomoduulin ja ohjauslaitteen välinen tiedonsiirto saadaan keskenään yhteensopivaksi. Myös pääosa yhdistetyistä energianmittaus- ja ohjauslaitteista sopii tarkoitukseen hyvin. Liitteessä 3 on taulukoitu eri järjestelmien ominaisuuksia ja arvioitu niiden soveltuvuutta Helsingin ulkovalaistuksen ohjauskäyttöön.

Lähteet:

Adrews G., Poulton K., Report on Energy Savings Opportunities in Streetlighting for SEDA and SEAV, 1999

Ahonen A., Etäkäytettävyyden toteuttaminen ammattikäyttöön tarkoitetuissa radioverkoissa, S-38.310 Diplomityöseminaari, kalvosarja, 2002

Amplex, Amplight, Effective and Inexpensive, Control of Street Lighting, Pervasive Internet in Practice, Commercial Brochure, 2002

Cisco, http://www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/cisintwk/ito_doc/isdn.htm

City of Oakland, Engineering and Design Services Department, Lighting Standard, n.d

Dean T., Network+ 2005 In Depth, Course Technology, 2005

Digita Oy, Vaatimusmäärittely DARC-kapasiteetin hyödyntämisestä väestöhälyttimen ohjaamiseen, 2003

Edelcom, Luxicom, Technical Documentation, 2004

Edwards W., et al., CCNP Complete Study Guide, Sybex, 2005

Eloholma M., Ketomäki J., Halonen L., Luminances and visibility in road lighting – conditions, measurements and analysis. Report 30. Helsinki University of Technology, Lighting laboratory

Elovaara J., Laiho. Y, Sähkölaitostekniikan perusteet 499, 4. painos, Otatieto, Espoo 1999

Enck W., Traynor P., McDaniel P., La Porta T., Exploiting Open Functionality in SMS-Capable Cellular Networks, Conference paper, 12th ACM Conference on Computer and Communications Security, The Pennsylvania State University, Department of Computer Science and Engineering, Systems and Internet Infrastructure Security Laboratory, 2005

Europäische Funk-Rundsteuerung GmbH, European Radio Ripple Control, Technical document, http://www.efr.de/com/download/pdfs/radio_ripple_control.pdf, luettu 3.11.2005

GE Consumer Products, WWW-sivu: http://www.geconsumerproducts.com/pressroom/press_releases/lighting/commercial_lighting/streetsmarts.htm, Luettu 13.1.2006

Grönman J, Matkapuhelinoperaattorin ydinverkkorakenteen optimointitarkastelu vikasietoisuuden näkökulmasta, Diplomityö, Teknillinen Korkeakoulu, Sähkö- ja tietoliikennetekniikan osasto, Espoo, 2002

Haapaniemi M., Introduction to GSM Data Services, Nokia Oyj, TTY lecture material, 2005

Hakola P., xDSL Technologies and ADSL, Course material, Helsinki University of Technology, Networking laboratory, 2000

Halonen L., Lehtovaara J., Valaistustekniikka 542, Otatieto, Espoo, 1992

Haminan Energia Oy, Haminan Energia Oy rakentaa wimax-verkon Haminaan, Lehdistötiedote 1.6.2005, 2005

Hautala P., Tiehallinnon selvityksiä 63/2003, Tievalaistuksen vähentämisen vaikutus onnettomuuksiin, Tiehallinto, Helsinki, 2003

Helsingin Energia, HelenVerkko, Loistehon kompensointiohje, 6.07/2003, Helsinki 2003

Helsingin Energia, SITO Oy, Julkinen ulkovalaistus ja liikenneturvallisuus, Helsinki 1996

Helsingin Kaupungin Sähkölaitos, Kertomus Helsingin kaupungin sähkölaitoksen toiminnasta vuonna 1936, Helsinki, 1937

Huston G., ISP Survival Guide, Strategies for Running a Competitive ISP, Kanada 1999

Idman Oy, Philips Lighting, Ulkovalaisimet 2005-2006, 2005

Joensuun kaupunki, Joensuun kihlakunnan poliisilaitos, Viihtyisä ja turvallinen Joensuu, Joensuun kaupungin turvallisuussuunnitelma, Joensuu, 2003

Liikenne- ja viestintäministeriö, Asetus Viestintäviraston radiohallinnollisista suoritteista perittävistä maksuista, Luonnos 25.5.2005, 2005

Lin Y., Chlamtac I., Wireless and Mobile Network Architectures, John Wiley & Sons, 2001

Luxmate, Luxmate systems, Outdoor Lighting Control, tekninen esite, 2002

Metso E., Ulkovalaistuksen säätö- ja säästötoimet, Ulkovalaistuksen tietopäivät, Esitelmämateriaali, 1992

Mäkelä O., Kärki J., Tievalaistuksen vaikutus liikenneturvallisuuteen ja ajonopeuksiin, Tiehallinnon selvityksiä 18/2004, Tiehallinto, Helsinki, 2004

National Lighting Product Information Program, Lighting Answers, Dimming Systems for High-Intensity Discharge Lamps, Volume 1 Number 4, September 1994, 1994

Nokia, New World Mobility selects Nokia Artuse™ USSD Centre – bringing faster interactive messaging to subscribers, Press Release, March 15th, 2001

Nokia, The fundamentals of TETRA data, Press Backgrounder, 2004

Nordman M., Lehtonen M., Holmström J., Ramstedt K., Hämäläinen P., A TCP/IP Based Communication Architecture for Distribution Network Operation and Control, TKK – Ajeco Oy, 2003

Osram Sylvania, Lamp & Ballast Product Catalog, 2004

Pacific Gas & Electricity, Efficiency Improvement Opportunities in Outdoor Lighting, Handout, 2005-11-03

Perel M., Olson P.L., Sivak M., Medlin J.W. Jr., Motor Vehicle Forward Lighting, SAE Technical Paper Series, International Congress & Exposition, Detroit, USA, 1983

Peterson L.L., Davie B.S., Computer Networks: A Systems Approach, Morgan Kaufmann Publishers, 1996

Prasad N., Prasad A., WLAN Systems and Wireless IP for Next Generation Communications, Artech House, 2002

Rittinghouse J., Ransome J., Wireless Operational Security, Digital Press, 2004

Ruohonen T., Langattomuus ja automaatio, Tietoverkkopohjainen automaatio, Luentomateriaali, Tampereen teknillinen yliopisto, 2004

Schreder, Schreder Group Newsletter n.31/2005, 2005

Siemens, Landis&Gyr RCR140 Verkkokäskyvastaanotin, Asennusohje

Silux, Power Miser, Valaistuksen Energiansäästöön, Esite, n.d

Stuckmann P., The GSM Evolution: Mobile Packet Data Services, John Wiley & Sons, 2003

Suomen Kuntaliitto, Ulkovalaistuksen tarveselvitys, Suunnitelmaselostus, Yhteinen osa, Helsinki 2002

Suomen sähkölaitosyhdistys r.y., US 4:92, Valaistuksen sähköinen suunnittelu, 1992

Syspeo sa, PLT-4 M2M Embedded Hardware, Street lighting wireless remote monitoring and control, tekninen esite, 2005

Teknillinen Korkeakoulu, Energiatalous ja voimalaitostekniikka, Ene-59.081 Teollisuuden energiajärjestelmät, syksy, Laskuharjoitusten tukimateriaalia, 2002

The Institution of Lighting Engineers, Guidance Notes for the Reduction of Obtrusive Light, 2005

Tiehallinto, Tiehallinnon tilastoja 3/2004, Liikenneonnettomuudet yleisillä teillä 2003, Helsinki 2004

Tiehallinto, Tievalaistuksen suunnittelu, Helsinki 2006

Tiehallinto, Tilastoja 2/2005, Yleiset tiet 1.1.2005, Helsinki 2005

Tielaitos, Tievalaistuksen käsikirja, Helsinki 1991

Tukiainen T., Laajakaistainen tiedonsiirto pienjänniteverkossa, Tesla-raportti, VTT Energia, Espoo, 2000

Turku Energia, Datasähkö, WWW-sivu: <http://www.dsturku.net/fi/kysymykset/436/>, Luettu 6.10.2005

Turpeinen O., Energiaa pääkaupungille, Sähkölaitostoimintaa Helsingissä 1884-1984, Helsingin kaupungin energialaitos, Helsinki, 1984.

U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Internal Technology Exchange Program, European Lighting Technologies, 2001

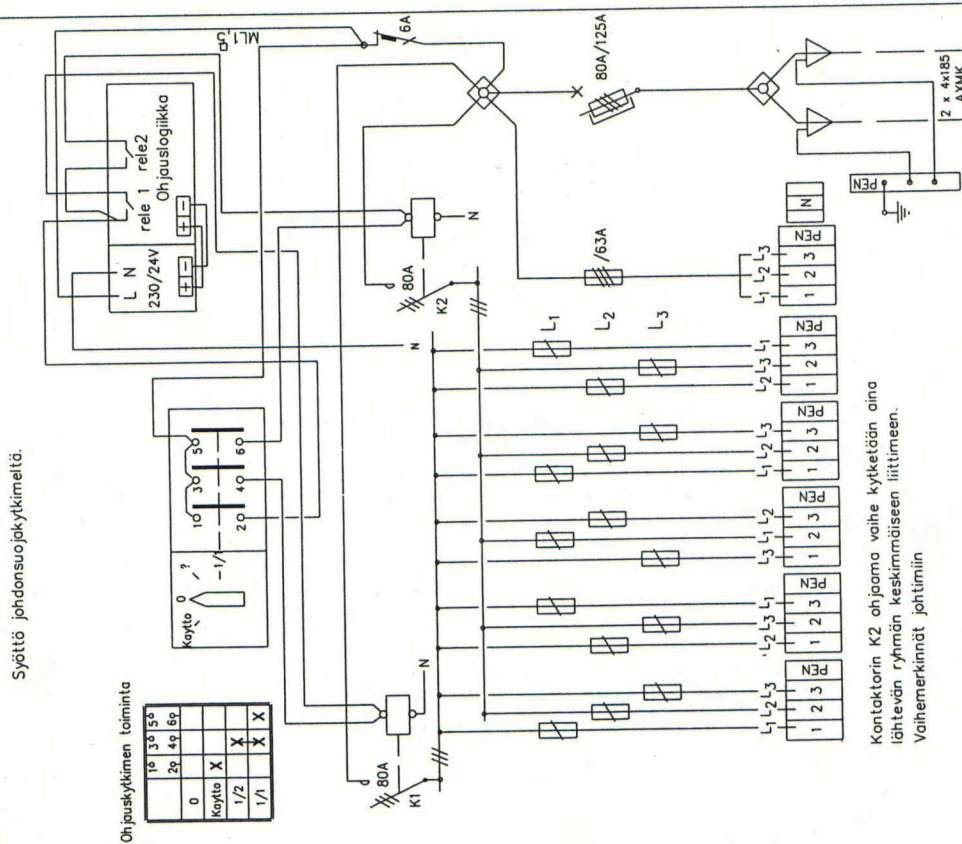
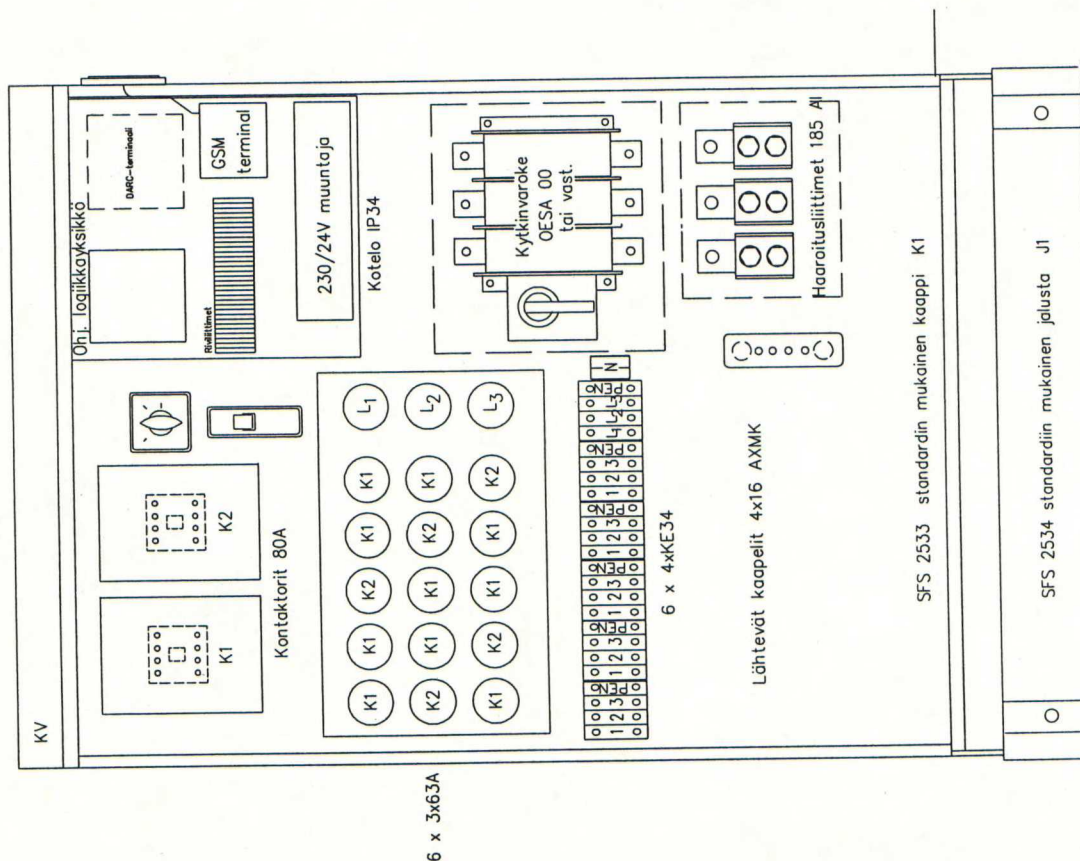
Viestintävirasto, Langattomat lähiverkot 2,45 GHz taajuusalueella, Asiakastiedote, 2002


Wikipedia, WWW-sivu: <http://fi.wikipedia.org/wiki/Zigbee>, Luettu 21.2.2006

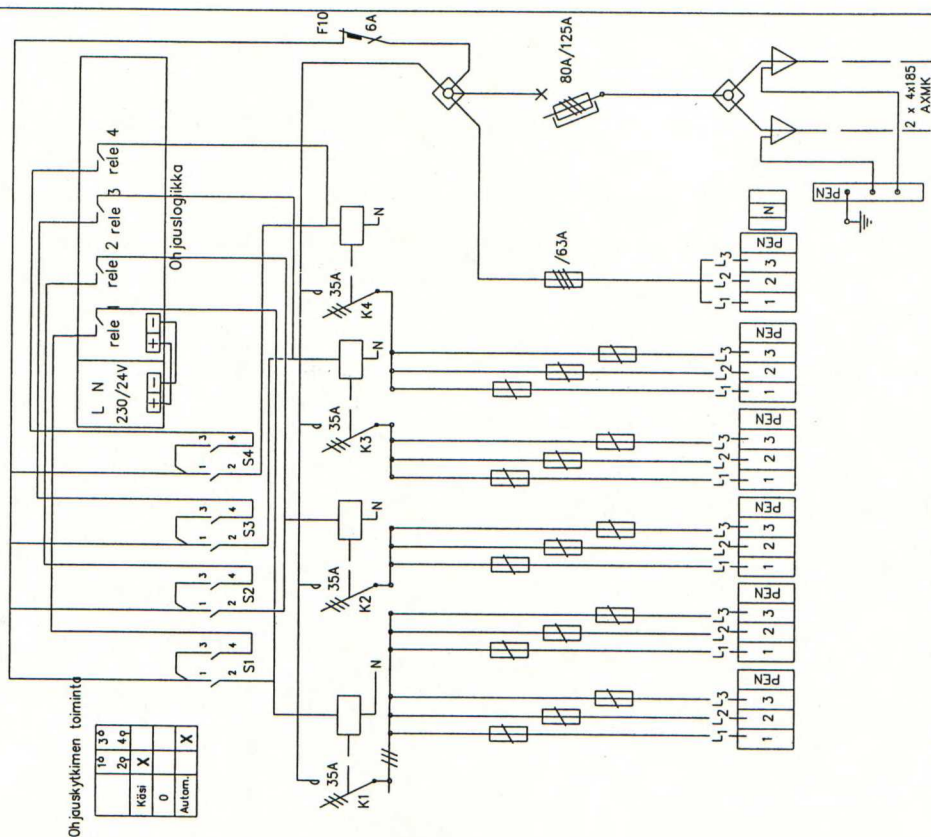
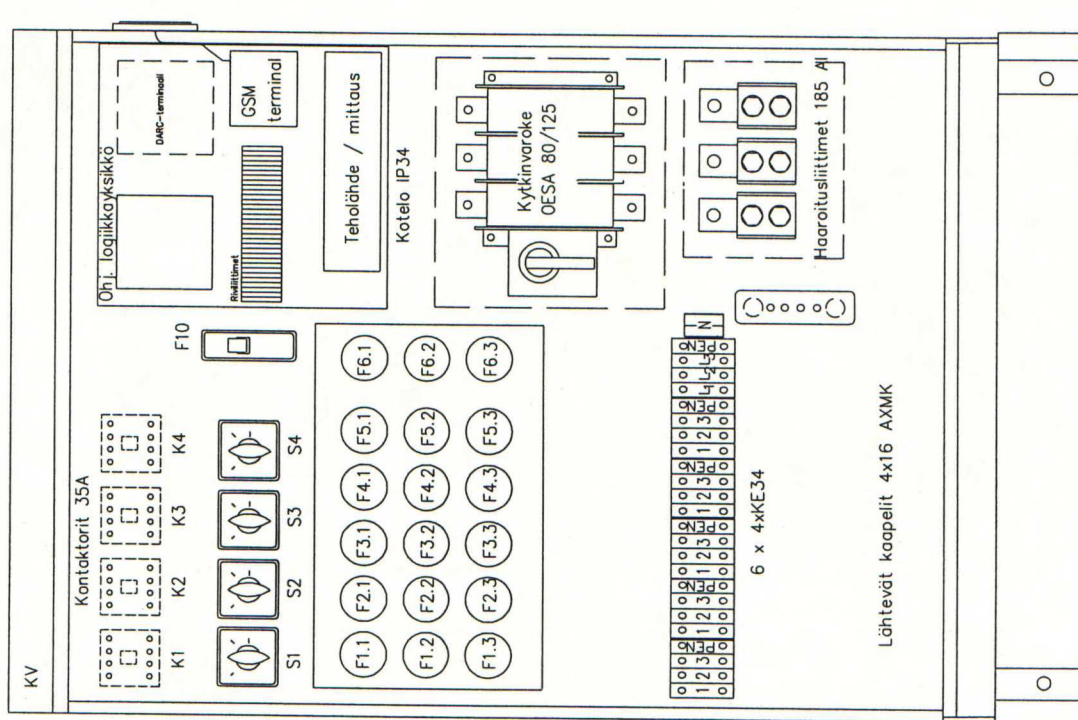
Wimax Forum, FAQ, <http://www.wimaxforum.org/about/faq/>, luettu 8.11.2005


Henkilölähteet:

Christiansen Rune, City of Copenhagen
Christoffersen Thomas, City of Copenhagen
Haanniemi Matti, Oulun Energia
Hautala Pentti, SITO-yhtiöt
Heikkilä Mika, Tampereen Kaupunki
Holmström John, Ajeco Oy
Holmström Osmo, Tiehallinto
Korkiakoski Pekka, Lappeenrannan Kaupunki
Laitio Hillevi, Elisa Oyj
Lindholm Stig-Göran, Vantaan Energia
Lundquist Rolf, GE Fanuc
Luoma Erkki, Helsingin Energia
Markkanen Olli, Helsingin Energia
Meriläinen Kari, Digita
Metso Eero, Helsingin Energia
Nikkanen Matti, Helsingin Energia (Eläkkeellä)
Nilanen Pasi, SLO
Ojala Jyrki, Lahti Energia
Pyykkönen Jorma, Enermet Oy
Rantanen Jarmo, GE Consumer & Industrial
Saari Mika, Idman Oy
Sarjola Tapani, Rovaniemen Energia
Savela Mika, Elisa Oyj
Sillanpää Pekka, Espoon Kaupunki
Takala Juha, Helsingin Energia
Tiensuu Antti, LiCon-AT
Tulander Jyrki, Forssan Energia
Tuohimaa Juha, TeliaSonera Finland Oyj



 Helsingin Energia	Suunn.	Tark.	Plustusnumero: Sunde:
	Suunn.	Jan T	
	Part.	Hys.	



 Helsingin Energia	Summ.	Tark.	Päättönumero: Suhte:
	Suunn.	Tark.	
	Suunn.	Hyv.	
	PerL		

Järjestelmä / toimittaja	Valmistusmaa	Edustaja Suomessa	Siirtotie valvomo-jakokaappi	Suuntia	Salattu	Siirtotie jakokaappi-valaisin	suuntia	salattu	Ohjaus/säätö	Palvelin OS	Backup	Yhdistettävää solmujayksikkö	Elektroniset liitännäslaitteet	Lämpötila	Soveltuvuus
Amplex	Tanska	Ei	GPRS	2	GSM	-	-	-	OS (2-teho)	Linux	Hämärätalukko	N.A.	E		2
Minos	Italia	SLO	POTS, GPRS, GSM	2		PLC	2		OS	Linux	Hämärätalukko/valokenno?	255	E	-25..65	2
Luxibom	Ranska	Idman	ADSL, POTS	2		PLC	2		OS	Windows	Jännite liittimelle	100	E	-40..60	3
Uvo Pro	Suomi	Elektro-Arola	GSM, GPRS, TETRA, VHF	2	GSM	-	-	-	O	Linux	Vapaa, edellinen ohjaus ajankohta, hämärätalukko				3
Luxmate / OLC-professional	Itävalta	Thorn	Internet, UMTS	2		PLC	2		2-port. S, vastaanotin 1/valaisin			127		-20..60	2
Magnetek illumination	Tanska/Italia/US	Louis Poulsen	Ethernet, ISDN, GSM	2		PLC	2		O(S)		Hämärätalukko	1000 / järjestelmä	E (säätöön K)	-25..45	4
AIM / Melko	Suomi	Enermet	Kiinteä + PLC, GPRS	1,2		-	-	-	O	Windows 2003					3
EFR radioripple	Saksa	Ei	RADIO	1		- (RADIO, jos valaisin koht.)	-	-	O						1
Royce Thompson Logiikat	Englanti	Trilight Useita	GPRS Useita	2	AES?	Radio: Zigbee	2 (master-slave)	AES	OS	Windows		1023/järjestelmä	K		3
			Puheli, matkapuhelin (GSM, GPRS)	1,2		-	-	-	O						5
CristalControl	Kanada	Ei				PLC	2	Kyllä	O			1022/looginen verkko		-40..80	3
Syspeo	Belgia	Ei	GPRS	2		-	-	-	O	Linux (Windows)	Vapaa (hämärrä)		K	-20..50	4
Philips starsense	Idman			2		PLC (Lon)	2								2
Actaris	Ranska	Onninen													2
Kamstrup	Tanska	Kamstrup													0
Analogic.no	Norja	Ei				PLC (Lon)	2	DES, 3DES					K	-40..80	2

0): Ei sovellettu tai järjestelmätoimittajalla ei saatu tietoja 1) Soveltuu huonosti, 2) Soveltuu valittavasti - vain perustoiminnallisuus, 3) Sopii käyttöön, 4) Sopii käyttöön hyvin, 5) Sopii käyttöön erinomaisesti